



全国机械行业职业教育优秀教材

全国高职高专机电类专业规划教材

# 互换性与测量技术

第3版

主 编 周文玲

副主编 周渝明 张敏英

参 编 吴任和 杨 妙 娄为正 艾明慧

主 审 康俊远 吉永林



机械工业出版社

机械工业出版社版权所有

本书采用了现行国家标准,根据检测技术的发展,把几何量的误差、公差标准及其应用、检测方法密切地结合起来,以“突出重点、教会方法、重在应用”为目的,对部分表格进行了精简;将检测实训融入相应的章节中,按照理实一体化编排学习内容,达到巩固知识和提高动手能力的有机结合。全书内容共分10章,包括互换性技术及其发展、尺寸极限与配合及其选用、几何公差及其检测、表面粗糙度及其检测、测量技术基础、常用量具及其使用方法、几种常用标准件的互换性、圆锥配合精度及其应用、渐开线圆柱齿轮精度及其应用,以及尺寸链的分析与计算。本书采用双色印刷。

本书可作为普通高等学校高职高专教育的装备制造大类(代码:56)各专业的教学用书,也可供有关工程技术人员参考。

本书配有电子课件,凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教育服务网 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com) 注册后下载。咨询电话:010-88379375。

### 图书在版编目(CIP)数据

互换性与测量技术/周文玲主编. —3版. —北京:机械工业出版社, 2019.5

全国高职高专机电类专业规划教材

ISBN 978-7-111-62462-2

I. ①互… II. ①周… III. ①零部件-互换性-高等职业教育-教材②零部件-测量技术-高等职业教育-教材 IV. ①TG801

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第068121号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:薛礼 责任编辑:薛礼

责任校对:张晓蓉 封面设计:鞠杨

责任印制:张博

北京铭成印刷有限公司印刷

2019年6月第3版第1次印刷

184mm×260mm·13印张·337千字

001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-62462-2

定价:39.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-68326294

网络服务

机工官网:[www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

机工官博:[weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

教育服务网:[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

金书网:[www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

封面无防伪标均为盗版

机械工业出版社版权所有

## 第3版前言 PREFACE

“互换性与测量技术”课程是普通高等学校的装备制造大类（代码：56），包括机械设计制造类（5601）、机电设备类（5602）、自动化类（5603）、铁道装备类（5604）、船舶与海洋工程装备类（5605）、航空装备类（5606）和汽车制造类（5607）等专业开设的一门重要的技术基础课程，它是联系机械设计与机械制造类课程的纽带，与机械设计、制造工艺和设备质量控制等多方面密切相关，掌握该课程的内容对于机械工程人员和管理人员具有重要的意义。

《互换性与测量技术》前两版受到了同行的广泛关注和采用，特别是第2版发行后，已重印10次，产生了很好的社会效益和经济效益，2017年4月获首届“全国机械行业职业教育优秀教材”。

随着机械设计与机械制造技术手段的不断发展，互换性国家标准的更新，为满足当前普通高等职业教育课程建设的需要，编者决定进行修订。第3版在编写过程中，收集了许多同仁对前两版使用的反馈信息，以宣贯互换性国家标准为主线，对内容进行了优化编排，在保证呈现的知识总量不变的前提下，取材力求精而不漏。采用了现行的国家标准，修改了上一版发现的不足和错漏之处。以“突出重点、教会方法、重在应用”为目的，对部分表格进行了精简；将第2版第10章中的有关检测实训融入相应的章节中，按照理实一体化编排学习内容，实现巩固知识和提高动手能力的有机结合。

全书共分10章。第1章是导入教学，使读者了解互换性知识及技术发展；第2章尺寸极限与配合及其选用、第3章几何公差及其检测和第4章表面粗糙度及其检测三章，是学习互换性课程应重点掌握的内容；第5章测量技术基础、第6章常用量具及其使用方法两章，注重提高实践技能；第7章几种常用标准件的互换性、第8章圆锥配合精度及其应用和第9章渐开线圆柱齿轮精度及其应用三章，注重知识的应用性；第10章介绍了尺寸链的分析与计算，可与机械制造技术有关内容穿插学习。

本书由周文玲任主编，并负责全书的统稿；周渝明、张敏英任副主编，负责电子资料的统筹；广东轻工职业技术学院康俊远教授、杭州中亚机械制造有限公司吉永林总工程师负责主审工作。周文玲编写第1、2章及附录，周渝明编写第3章，艾明慧编写第4章，杨妙编写第5、6章，张敏英编写第7章，吴任和编写第8、10章，娄为正编写第9章。

本书在编写过程中，得到了广东轻工职业技术学院贺爱东、刘战术、战祥乐等教授的悉心指导，并提出了宝贵的建议，同时，也得到兄弟院校同仁的大力协助，在此一并致以衷心的感谢！

限于编者的水平，书中难免存在不足和错漏之处，恳请读者批评指正。

编者

## 第2版前言 PREFACE

“互换性与测量技术”课程是机械类、仪器仪表类和机电一体化技术类专业开设的一门重要的技术基础课程，它是联系机械设计与机械制造类课程的纽带，与机械设计、制造工艺和设备质量控制等多方面密切相关，掌握该课程的内容对于机械工程人员和管理人员具有重要的意义。

《互换性与测量技术》第1版自2005年出版以来，受到同行的普遍认同，先后十多次重印，取得了良好的社会效益。

本书第2版根据近年来全国高等教育教学改革的实际情况，收集了许多同仁对第1版使用的反馈信息，考虑到高职高专院校此类课程的教学要求，在保证教材呈现的知识总量不变的前提下，以“突出重点、教会方法、重在应用”为目的，取材力求全面而精；采用了截至目前颁布的最新国家标准，对内容进行了补充和更新，修订了原来的不足和错漏，使教材更加完善。根据当前检测技术的发展，把几何量的误差、公差标准及其应用、检测方法密切地结合起来，增加了坐标测量机等新设备。对原有的表格进行了精简，使教材更加清晰。增加了一定量的实例分析，以巩固学习内容，使学有所用。增加了适量的思考题和习题，使学习者掌握课程最基本的内容，为后续学习奠定基础。

全书以宣贯互换性国家标准为主线，内容共分10章。第1章绪论是教学导入内容，通过学习了解互换性相关知识及其技术的发展，第2章尺寸极限与配合、第3章几何公差及其检测以及第5章表面结构及其检测是重点应掌握的内容，第4章测量基础与常用量具、第6章几种常用标准件的互换性、第7章圆锥配合的互换性、第8章渐开线圆柱齿轮的互换性以应用为主，更注重实用性，第9章尺寸链简单介绍了尺寸链及其解法，第10章典型技术测量实训内容可以穿插在各相应章节中教学。

本书由周文玲任主编，负责全书的统稿工作；周渝明任副主编，负责教学光盘的统筹工作；广东轻工职业技术学院康俊远教授、杭州中亚机械制造有限公司吉永林总工程师负责主审工作。周文玲编写第1、2章及附录，周渝明编写第3、9、10章，刘安静编写第4章4.1~4.3节和第5、6章，吴任和编写第7、8章及4.4节。

本书在编写过程中，得到了广东轻工职业技术学院刘战术教授、徐百平教授等的悉心指导和帮助，同时，也得到兄弟院校同仁的大力协助，在此一并致以衷心的感谢！

限于编者的水平，书中难免存在不足和错漏之处，恳请读者批评和指正。

编者

# 第1版前言 PREFACE

“互换性与测量技术”课程是机械类各专业开设的一门重要的技术基础课程，它与机械设计基础、机械制造基础等课程有着密切的联系，它紧紧围绕机械产品零部件的制造误差和公差及其关系，研究零部件的设计、制造精度与技术测量方法。

本书在编写过程中，以贯彻互换性国家标准为主线，以讲清楚互换性与测量基本概念为前提，以学会运用为目的，结合我国高职高专教育的特点和教学要求，注重实用性，力求内容精练、重点突出、易读易懂，并贯彻执行国家现行标准，吸收了多年来的科研成果和教学经验。

本书内容共分10章。第1章绪论，以阐述互换性概念为主；第2章尺寸极限与配合，是本书重点内容之一；第3章形状和位置公差及其检测，是重点和难点内容；第4章测量技术基础，与光滑极限量规融合讲述；第5章表面粗糙度基本理论；第6章介绍几种常见的标准件如轴承、键、螺纹连接的互换性；第7章圆锥配合的互换性，可与第2章对比学习；第8章讲述渐开线圆柱齿轮的互换性；第9章介绍尺寸链及其解法；第10章几个典型的公差实验，实践性较强，可与第4章结合学习。在书的最后附有常用孔与轴的极限偏差数值表，以方便查阅。本书为高职高专院校机械工程类专业教材，也可供相关技术人员参考使用。

本书由广东轻工职业技术学院周文玲担任主编，负责统稿工作，并编写第1、2、5、6章及附录；广东轻工职业技术学院康俊远编写第4、7、8章；广东工贸职业技术学院周渝明编写第3、9、10章。陕西科技大学董继先教授担任主审并给予悉心指导，杭州中亚机械有限公司吉永林总工程师参加审稿并提出宝贵的修改意见。

在编写过程中，同时得到了相关院校领导及有关人士的大力支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢！

由于编者水平所限，书中难免出现缺点和错漏之处，恳请读者提出宝贵意见。

编 者

# 目录 CONTENTS

## 第3版前言

## 第2版前言

## 第1版前言

## 第1章 互换性技术及其发展 1

- 1.1 互换性概述 1
- 1.2 标准化与优先数系 3
- 1.3 互换性生产的技术发展 4
- 1.4 课程的性质与任务 6
- 思考题与习题 6

## 第2章 尺寸极限与配合及其选用 7

- 2.1 有关基本术语 7
- 2.2 极限与配合国家标准 14
- 2.3 未注公差标准简介 30
- 2.4 极限与配合的选用 31
- 思考题与习题 38

## 第3章 几何公差及其检测 40

- 3.1 概述 40
- 3.2 几何公差项目及误差检测 44
- 3.3 公差原则 68
- 3.4 几何公差的选择 74
- 3.5 几何误差的检测实训 79
- 思考题与习题 84

## 第4章 表面粗糙度及其检测 87

- 4.1 表面粗糙度概述 87
- 4.2 表面粗糙度评定参数及其运用 88
- 4.3 表面粗糙度的参数标注 92
- 4.4 表面粗糙度的检测 100
- 思考题与习题 102

## 第5章 测量技术基础 104

- 5.1 测量基础 104

5.2 计量器具与验收极限 108

5.3 测量误差及数据处理 113

思考题与习题 119

## 第 6 章 常用量具及其使用方法 121

6.1 内外径量具及其使用方法 121

6.2 角度量具及其使用方法 126

6.3 量块及其使用方法 128

6.4 光滑极限量规及其使用方法 131

6.5 坐标测量机简介 135

思考题与习题 137

## 第 7 章 几种常用标准件的互换性 138

7.1 滚动轴承的互换性 138

7.2 键连接的互换性 144

7.3 普通螺纹的互换性 150

思考题与习题 159

## 第 8 章 圆锥配合精度及其应用 161

8.1 圆锥配合的基本知识 161

8.2 圆锥配合公差及其选用 164

8.3 圆锥的检测方法 167

思考题与习题 168

## 第 9 章 渐开线圆柱齿轮精度及其应用 169

9.1 齿轮传动的基本要求及加工误差 169

9.2 圆柱齿轮的误差分析及评定参数 171

9.3 齿轮副的误差项目及其评定指标 177

9.4 圆柱齿轮的精度标准及应用 179

9.5 圆柱齿轮的测量 187

思考题与习题 190

## 第 10 章 尺寸链的分析与计算 191

10.1 尺寸链及其组成 191

10.2 用完全互换法解尺寸链 193

10.3 用大数互换法解尺寸链 197

10.4 用其他方法解装配尺寸链 199

思考题与习题 201

## 附录 203

附录 A 孔的极限偏差 (摘自 GB/T 1800.2—2009) 203

附录 B 轴的极限偏差 (摘自 GB/T 1800.2—2009) 207

## 参考文献 211

# 第1章

## CHAPTER 1

# 互换性技术及其发展

## 1.1 互换性概述

### 1.1.1 互换性的概念和种类

#### 1. 互换性的概念

一台机器是由许多零部件装配在一起构成的。机器在装配或更换零部件时，从大批生产出来的同一规格的零部件中任取一件，不需要任何挑选、附加调整或修配，就能够组装成部件或整机，并且能够达到规定的性能和要求，这种技术特性称为互换性。这类零部件称为具有互换性的零部件。能够保证零部件具有互换性的生产，称为遵循互换性原则的生产。

互换性生产广泛应用于机械产品零部件的设计、生产、使用和维修等方面。例如，自行车、缝纫机的零部件坏了，可以迅速地更换新的零件，更换后仍能满足使用要求，就是因为这些零部件具有互换性。

#### 2. 互换性的种类

互换性按照分类方法的不同，其类型也不相同，具体分类见表 1-1。

表 1-1 互换性的分类

| 分类         | 类型              | 含 义                                                              | 应 用 情 况                              |
|------------|-----------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 按互换的参数不同分类 | 几何参数互换,也称为几何量互换 | 通过规定零部件几何参数的公差所达到的互换性。一般分为长度参数和角度参数,主要包括尺寸、几何形状、几何要素的相互位置和表面粗糙度等 | 限于保证零部件尺寸配合的要求<br>本课程主要研究零部件的几何参数互换性 |
|            | 功能互换            | 通过规定零部件的机械性能、物理性能和化学性能等参数所达到的互换性                                 | 功能互换性如强度、刚度、硬度、使用寿命、抗腐蚀性、导电性、热稳定性等   |
| 按互换程度不同分类  | 完全互换            | 零部件在装配或更换前不作任何选择,装配或更换时不作调整或修配,更换后便能满足预定的使用要求                    | 不同地域、不同企业之间的协作,要求完全互换                |

(续)

| 分类         | 类型            | 含 义                                                      | 应 用 情 况                                            |
|------------|---------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 按互换程度不同分类  | 不完全互换,也称为有限互换 | 零部件在装配前,允许有附加的选择(如预先分组),装配时允许有附加的调整,但不允许修磨,装配后能满足预定的使用要求 | 常用于部件或机构制造企业内部的生产和装配                               |
| 按部件或机构不同分类 | 内互换           | 指部件或机构内部组成零件之间的互换性                                       | 对于标准化部件,指组成标准化部件的零件之间的互换性,如滚动轴承内、外圈滚道与滚动体间的装配      |
|            | 外互换           | 指部件或机构与其相配合零件间的互换性                                       | 对于标准化部件,指标准化部件与其他零部件之间的互换,如滚动轴承的内圈与轴之间、外圈与壳体孔之间的配合 |

### 1.1.2 互换性的技术经济意义

互换性生产是现代化机械工业按专业化协作原则组织生产的基本条件,已经成为现代机械制造业中一个普遍遵守的原则,它对保证产品质量、提高生产率和增加经济效益具有重要意义,主要体现在以下几个方面:

1) 从设计方面看,采用具有互换性的零部件,有利于产品进行模块化、程序化的设计和改进。特别是采用标准零部件(如螺钉、销钉、滚动轴承等),可大大减轻计算与绘图的工作量,缩短设计周期。

2) 从制造方面看,互换性是提高生产水平和进行文明生产的有力手段。装配时,由于零部件具有互换性,不需要辅助加工修配,可以减轻装配工的劳动量,缩短装配周期,使生产效率显著提高。加工时,由于按照公差规定加工,同一部机器上的各个零件可以分别由各专业厂同时制造。另外,各专业厂产品专业化,生产批量大,分工细,所以有条件采用高效率的专用设备,使产品的质量明显提高。

3) 从使用方面看,零部件具有互换性,一旦某个零件损坏,可以很快地用同一规格型号的备件替换,缩短了机器维修时间,保证了机器工作的连续性和持久性,提高了机器的使用价值。

### 1.1.3 实现互换性的条件

#### 1. 合理地确定零部件的几何参数公差

机械零部件在加工过程中,加工误差是不可避免的。要想使同一规格的一批零件的几何参数完全一致是不可能的,也是不必要的,实际上只要把零件的几何参数误差控制在允许变动的范围内就可以了,这个允许误差的变动量就是公差。如果零件在其规定的公差范围内制造出来,就能满足互换性的要求。

零部件的制造精度由加工误差体现,而误差由公差控制。对于同一尺寸,公差大者,允许加工误差就大。也就是说零件精度要求较低,容易加工,制造成本较低;反之,则加工难,制造成本高。因此,合理确定零部件的几何参数公差是实现互换性的一个必备条件。

#### 2. 正确地选择和使用技术测量工具

已加工好的零件是否满足公差要求,要通过技术测量即检测来判断。如果只规定零部件

公差,而缺乏相应的检测措施,则不可能实现互换性生产。因此,正确地选择、使用测量工具是制造和检测的基本要求,也是必须掌握的技能。检测不仅用于评定零件合格与否,也常用于分析零件不合格的原因,以便及时调整生产工艺,预防废品产生。因此,技术测量措施是实现互换性的另一个必备条件。

## 1.2 标准化与优先数系

### 1.2.1 标准与标准化

GB/T 20000.1—2014 对于标准化的定义是:为了在既定范围内获得最佳秩序,促进共同效益,对现实问题或潜在问题确立共同使用和重复使用的条款以及编制、发布和应用文件的活动。由此,标准化就是指以制定标准、贯彻标准、修改和补充标准为主要内容的全部活动过程。标准化是一个不断循环而又不断提高的过程。采用标准化的原理和方法,把一些重复性事物和概念加以集中简化、优选、协调和统一,并以文件的形式体现出来,这就是标准。

标准按其性质可分为技术标准、生产组织标准和经济管理标准三大类。通常机械制造业所说的标准大多数是指技术标准。技术标准(简称标准)是指为产品和工程的技术质量、规格及检验方法等方面所做的技术规定,是从事生产、建设工作的一种共同技术依据。它是科学技术与实践经验的综合成果,在充分协商的基础上,对具有多样性、相关性特征的重复事物,以特定程序、特定形式颁发的统一规定,在一定范围内作为共同遵守的技术原则。

按照《中华人民共和国标准化法》的规定,我国标准按照行政体制分为四级:国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。见表 1-2。

表 1-2 标准的分级说明

| 标准级别 | 标准的制定                                                    | 应用说明                                                                                                                                        |
|------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 国家标准 | 由国家标准化行政主管部门编制计划、组织起草,统一审批、编号和颁布,在全国范围内执行的标准             | 是四级标准体系中的主体,其他各级标准不得与国家标准有抵触<br>分为强制性标准(代号 GB)和推荐性标准(代号 GB/T)<br>本课程涉及的国家标准大多为推荐性标准                                                         |
| 行业标准 | 对于没有国家标准而又需要在全国某个行业内统一技术要求所制定的标准,是对国家标准的补充,在某一行业内统一执行的标准 | 有了相应的国家标准后,行业标准即自行废止<br>我国已经颁布了 61 个行业的标准代号,如机械行业标准(JB)、轻工行业标准(QB)、纺织行业标准(FB)、铁路运输行业标准(TB)等                                                 |
| 地方标准 | 对于没有国家标准和行业标准,又需要在省、自治区、直辖市范围内统一的技术要求所制订的标准,在本行政区域内实施    | 由省、自治区、直辖市政府的标准化行政主管部门编制计划、组织起草、审批、编号并颁布,报国家标准化行政主管部门备案。标准代号为 DB 加地方行政区划代码的前两位数,如北京地方标准代号为 DB11、广东地方标准代号为 DB44<br>有了相应的国家标准或行业标准后,地方标准即自行废止 |
| 企业标准 | 企业制定的在其内部需要协调、统一的技术要求、管理和工作要求                            | 由企业组织制定,报省、自治区、直辖市政府的规定备案。若企业生产的产品没有国家标准、行业标准和地方标准,国家鼓励企业制定严于上述标准的企业标准,在其内部使用,作为组织生产的依据                                                     |

1.2.2 优先数系和优先数

优先数系和优先数是工程上对各种技术参数的数值进行协调、简化和统一的一种科学的数值标准。优先数系是一种十进制的近似等比数列，其代号为  $R_r$ ，数列中每项的数值称为优先数。R 是优先数系创始人 Renard 名字的第一个字母， $r$  代表 5、10、20、40 和 80 等数字。

R5、R10、R20、R40 为基本系列，是常用的数系，R80 为补充系列。标准规定的五种优先数系的公比如下：

- R5 数系，公比为  $q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.60$ ；
- R10 数系，公比为  $q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$ ；
- R20 数系，公比为  $q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.12$ ；
- R40 数系，公比为  $q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06$ ；
- R80 数系，公比为  $q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.03$ 。

《优先数和优先数系》GB/T 321—2005 中列出的范围 1~10 的优先数基本系列的常用数值，见表 1-3。

表 1-3 优先数基本系列的常用数值（摘自 GB/T 321—2005）

| R5   | R10  | R20  | R40  | R5   | R10  | R20  | R40  | R5    | R10   | R20   | R40   |
|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 2.50 | 2.50 | 2.24 | 2.24 | 6.30  | 5.00  | 5.00  | 5.00  |
|      |      | 1.12 | 1.06 |      |      | 2.36 | 2.36 |       |       | 5.60  | 5.30  |
|      |      |      | 1.12 |      |      | 2.50 | 2.50 |       |       |       | 5.60  |
|      |      |      | 1.18 |      |      | 2.65 | 2.65 |       |       |       | 6.00  |
| 1.60 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 3.15 | 3.15 | 2.80 | 2.80 | 8.00  | 6.30  | 6.30  | 6.30  |
|      |      | 1.40 | 1.32 |      |      | 3.00 | 3.00 |       |       | 7.10  | 6.70  |
|      |      |      | 1.40 |      |      | 3.15 | 3.15 |       |       |       | 7.10  |
|      |      |      | 1.50 |      |      | 3.35 | 3.35 |       |       |       | 7.50  |
| 2.00 | 1.60 | 1.60 | 1.60 | 4.00 | 4.00 | 3.55 | 3.55 | 10.00 | 8.00  | 8.00  | 8.00  |
|      |      | 1.80 | 1.70 |      |      | 3.75 | 3.75 |       |       | 9.00  | 8.50  |
|      |      |      | 1.80 |      |      | 4.00 | 4.00 |       |       |       | 9.00  |
|      |      |      | 1.90 |      |      | 4.25 | 4.25 |       |       |       | 9.50  |
| 2.12 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 4.50 | 4.50 | 4.50 | 4.50 | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00 |
|      |      | 2.12 | 2.12 |      |      | 4.75 | 4.75 |       |       | 10.00 | 10.00 |

优先数适用于能用数值表示的各种量值的分级，特别是产品的参数系列。在机械工程中，常见量值如直径、长度、面积、体积、载荷、应力、转速、速度、时间、功率、电流、电压和流量等的分级数值，一般都遵循优先数系。本课程所设计的许多标准，例如尺寸分段、标准公差数值以及表面粗糙度参数系列等，也都遵循优先数系。

1.3 互换性生产的技术发展

1.3.1 公差标准的建立和发展

互换性标准的建立和发展随着制造业的发展而逐步完善。从图 1-1 可以清楚地看出它的

百年发展史。

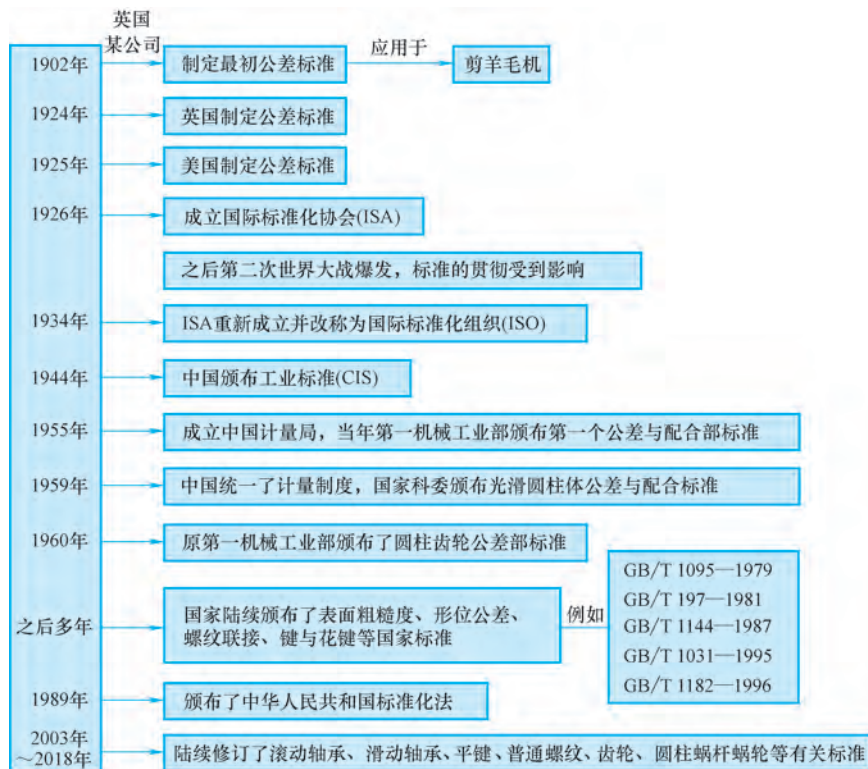


图 1-1 互换性生产的发展史

### 1.3.2 检测技术的发展

检测技术水平在一定程度上反映了机械制造的精度和水平。机械加工精度的提高与检测技术水平的提高相互依存、相互促进。根据国际计量大会统计，零件的机械加工精度大约每10年就会提高一个数量级，这与检测技术的发展有关。例如，1940年，由于有了机械式比较仪，使加工精度从过去的 $3\mu\text{m}$ 提高到 $1.5\mu\text{m}$ ；1950年，有了光学比较仪，使加工精度提高到 $0.2\mu\text{m}$ ；1960年，有了电感、电容式测微仪和圆度仪，使加工精度提高到 $0.1\mu\text{m}$ ；1969年，有了激光干涉仪，使加工精度提高到 $0.01\mu\text{m}$ ；1982年发明的扫描隧道显微镜（STM）、1986年发明的原子力显微镜（AFM），使加工精度达到纳米级。

测量仪器的发展已经进入自动化、数字化和智能化时代，测量技术已从人工读数测量发展到自动定位、瞄准和测量，计算机处理测量数据，自动输出测量结果。测量空间已由一维、二维空间发展到三维空间。

总之，互换性是现代化生产的重要生产原则，标准化是广泛实现互换性生产的前提；检测技术和计量测试是实现互换性的必要条件和手段，是工业生产中进行管理、贯彻质量标准必不可少的技术保证。因此，互换性、标准化和检测技术三者形成了一个有机整体。

## 1.4 课程的性质与任务

### 1.4.1 课程的性质与特点

本课程是机械类、近机械类和仪器仪表类各专业必须掌握的一门技术基础课，它与机械设计、机械制造等课程有着密切的联系。它以互换性内容为主线，围绕零部件的制造误差、公差及其关系，包括尺寸极限与配合、几何公差、表面粗糙度和技术测量等几部分，研究零件的设计、制造精度与测量方法。掌握这些基本知识和技能，能够为后续学习相关专业课、从事实际工作奠定必要的基础。

本课程的特点是术语、符号、代号、图形、表格多；公式推导少；经验数据、定性解释多；内容涉及面广，每一部分都具有独立的知识体系；实践性强。

### 1.4.2 课程的要求与学习方法

#### 1. 课程要求

- 1) 掌握课程中有关互换性的国家标准。
- 2) 学会并掌握确定零部件的公差原则和方法。
- 3) 学会查用各类表格，能正确标注技术图样。
- 4) 了解典型的测量方法，学会常用计量器具的使用。

#### 2. 学习方法

- 1) 注意实践环节的训练，做到理论与实践相结合。
- 2) 与相关课程的知识联系起来学习，使互换性知识学以致用。

#### 思考题与习题

- 1.1 互换性在机械制造业中有何重要意义？举出互换性应用实例 2~3 个。
- 1.2 完全互换与不完全互换有什么区别？它们主要用于什么场合？
- 1.3 实现互换性的条件是什么？
- 1.4 什么是优先数系？为什么要采用优先数？
- 1.5 我国标准分为哪四个级别？它们之间的关系是什么？

# 第2章

## CHAPTER 2

# 尺寸极限与配合 及其选用

机械零件在制造过程中存在误差,使零件实际尺寸与理想尺寸存在一定的差异,为了保证零件的使用性能,必须对尺寸的变化范围加以限制。尺寸极限与配合就是研究如何进行尺寸的精度设计,控制尺寸的误差变化范围,保证零件具有良好的互换性。它不仅体现在光滑圆柱体之间的结合,也适用于其他表面或结构尺寸组成的配合。

极限与配合国家标准是机械制造业重要的基础标准之一,有关标准如下:

GB/T 1800.1—2009《产品几何技术规范(GPS)极限与配合 第1部分:公差、偏差和配合的基础》。

GB/T 1800.2—2009《产品几何技术规范(GPS)极限与配合 第2部分:标准公差等级和孔、轴极限偏差表》。

GB/T 1801—2009《产品几何技术规范(GPS)极限与配合 公差带和配合的选择》。

GB/T 1803—2003《极限与配合 尺寸至18mm 孔、轴公差带》。

GB/T 1804—2000《一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差》。

本章将以上述国家标准为依据,介绍相关知识。

## 2.1 有关基本术语

### 2.1.1 孔、轴和尺寸

#### 1. 孔与轴

尺寸极限与配合中所讲的“孔”和“轴”具有广义性,二者装配后表现为包容和被包容的关系。“孔”是指工件的圆柱形内表面,也包括非圆柱形内表面(由两平行平面或切平面形成的包容面)。“轴”是指工件的圆柱形外表面,也包括非圆柱形外表面(由两平行平面或切平面形成的被包容面)。

例如,如图2-1所示,由尺寸 $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ 、 $D_4$ 和 $D_5$ 所确定的内表面(包容面)都视作孔。它们都是由两平行平面(或切平面)形成的。由尺寸 $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ 和 $d_4$ 所确定的外表面(被包容面)都视作轴。

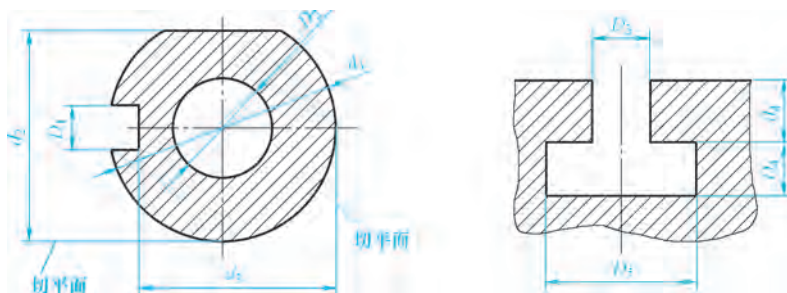


图 2-1 孔与轴

## 2. 尺寸

尺寸是指以特定单位表示线性尺寸值的数值，也称线性尺寸或长度尺寸。线性尺寸指两点之间的距离，如直径、宽度、深度、中心距等。国家标准规定在技术图样上所标注的线性尺寸均以毫米为单位，且省略单位符号“mm”；角度尺寸常以度、分、秒为单位来标注，且必须标明单位符号，如  $30^\circ$ ， $15^\circ 30'$  等。

GB/T 1800.1—2009 将尺寸分为公称尺寸、提取组成要素的局部尺寸和极限尺寸。

(1) 公称尺寸 公称尺寸指由图样规范确定的理想形状要素的尺寸。它可以是一个整数或一个小数值，例如 15、0.5 等。

在机械设计中，公称尺寸是设计者根据零部件的使用要求，通过刚度、强度或结构等方面的考虑，用计算、试验或类比等方法确定的尺寸。计算得到的公称尺寸数值应按照 GB/T 2822—2005 《标准尺寸》予以标准化，其目的是为了减少定值刀具（如钻头、铰刀）、定值量具（如塞尺、卡规）、定值夹具（如弹簧夹头）及型材等的规格。

孔和轴的公称尺寸分别用  $D$  和  $d$  表示。

(2) 提取组成要素的局部尺寸 提取组成要素的局部尺寸是指一切提取组成要素上两对应点之间的距离的统称。在以前的国家标准版本中，将提取组成要素的局部尺寸称为局部实际尺寸。实际尺寸通过测量而得，由于存在测量误差，不同的人、使用不同的测量器具、采用不同的测量方法所提取要素的对应点的值可能不完全相同。因此，提取组成要素的局部尺寸实际是零件上某一位置的测量值，即零件的局部实际尺寸。

(3) 极限尺寸 即允许尺寸变动的两个尺寸界限值。它以公称尺寸为基数来确定两个界限值。允许的最大尺寸称为上极限尺寸，允许的最小尺寸称为下极限尺寸。孔的上极限尺寸和下极限尺寸分别用  $D_{\max}$  和  $D_{\min}$  表示，轴的上极限尺寸和下极限尺寸分别用  $d_{\max}$  和  $d_{\min}$  表示，如图 2-2 所示。

极限尺寸用来限制加工零件的尺寸变动，因此，提

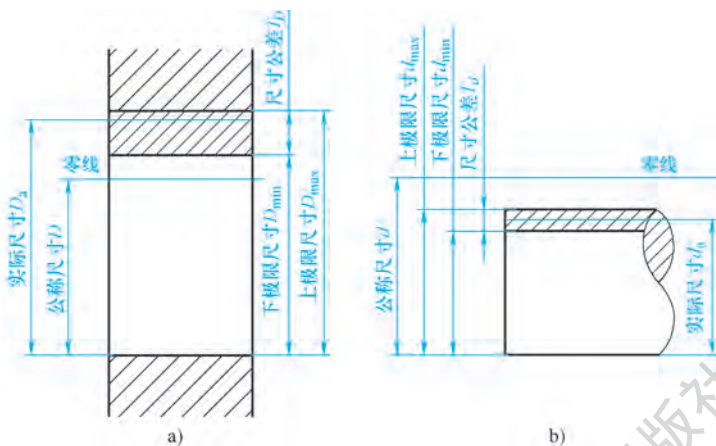


图 2-2 公称尺寸和极限尺寸

a) 孔 b) 轴

取组成要素的局部尺寸应位于两个极限尺寸之间，也可达到极限尺寸。

## 2.1.2 偏差和公差

### 1. 尺寸偏差 (简称偏差)

尺寸偏差是指某一尺寸减其公称尺寸所得的代数差。实际尺寸减其公称尺寸所得的代数差称为实际偏差；极限尺寸减其公称尺寸所得的代数差称为极限偏差。上极限尺寸减其公称尺寸所得的代数差，称为上极限偏差；下极限尺寸减其公称尺寸所得的代数差，称为下极限偏差；上极限偏差与下极限偏差统称为极限偏差。

国家标准规定：孔的上极限偏差代号用大写字母 ES 表示，下极限偏差代号用大写字母 EI 表示；轴的上极限偏差代号用小写字母 es 表示，下极限偏差代号用小写字母 ei 表示。

孔和轴的上、下极限偏差分别用下式表示：

$$ES = D_{\max} - D, \quad es = d_{\max} - d \quad (2-1)$$

$$EI = D_{\min} - D, \quad ei = d_{\min} - d \quad (2-2)$$

零件的局部实际尺寸有可能大于、小于或等于公称尺寸，所以偏差值可能为正值、负值或零，在计算或书写偏差值时必须带有正、负号。

### 2. 尺寸公差 (简称公差)

尺寸公差即允许尺寸的变动量，等于上极限尺寸与下极限尺寸代数差的绝对值，也等于上极限偏差与下极限偏差代数差的绝对值。孔和轴的公差分别用  $T_D$  和  $T_d$  表示。用公式表示如下：

$$T_D = D_{\max} - D_{\min} = ES - EI \quad (2-3)$$

$$T_d = d_{\max} - d_{\min} = es - ei \quad (2-4)$$

注意：尺寸公差是设计者给定的允许尺寸误差的范围，它体现了对加工方法的精度要求，不能通过测量而得到；而尺寸误差是一批零件的实际尺寸相对于公称尺寸的偏离范围，当加工条件一定时，尺寸误差也能体现出加工的精度。所以公差不能取零值，更不能为负值。

### 3. 尺寸公差带与公差带图

由代表上极限偏差与下极限偏差或上极限尺寸与下极限尺寸的两条直线所限定的区域带，即尺寸公差带，简称公差带。它在垂直于零线方向的宽度代表公差值。

表明两个相互配合的孔、轴的公称尺寸、极限尺寸、极限偏差与公差的相互关系图形，就是公差带图，如图 2-3 所示。在公差带图中，代表公称尺寸的基准直线称为零偏差线，简称零线。零线以上的偏差为正偏差，零线以下的偏差为负偏差。在实际应用中，不必绘出孔与轴的全形，只要将有关的部分放大绘出即可。

由图 2-3 可见，公差带有大小和位置两个要素。公差带大小取决于公差值，公差带位置即公差带相对于零线的位置，取决于某一个极限偏差值。

公差带图的绘制步骤如下：

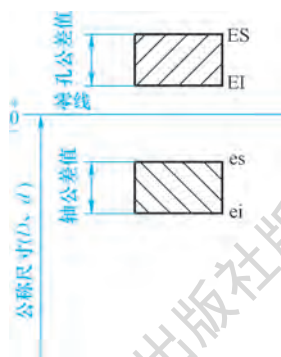


图 2-3 公差带图

- 1) 画零线, 标出“0”“+”“-”, 用箭头指向零线表示公称尺寸并标出其数值。
- 2) 按照相同比例画出孔、轴的公差带。通常将孔的公差带打上 45°剖面线, 轴的公差带打上-45°剖面线, 以示区别。
- 3) 标出孔和轴的上、下极限偏差值及其他要求标注的数值。

**例 2-1** 已知某一对相互配合的孔与轴, 其公称尺寸为 60mm, 孔的上极限尺寸  $D_{\max} = 60.030\text{mm}$ , 下极限尺寸  $D_{\min} = 60\text{mm}$ , 轴的上极限尺寸  $d_{\max} = 59.990\text{mm}$ , 下极限尺寸  $d_{\min} = 59.971\text{mm}$ , 加工后测得孔和轴的实际尺寸分别为 60.010mm 和 59.980mm。求孔与轴的极限偏差、实际偏差及公差, 并绘制公差带图。

**解** 1) 孔的极限偏差  $ES = D_{\max} - D = 60.030\text{mm} - 60\text{mm}$   
 $= +0.030\text{mm} = +30\mu\text{m}$

$$EI = D_{\min} - D = 60\text{mm} - 60\text{mm} = 0$$

轴的极限偏差  $es = d_{\max} - d = 59.990\text{mm} - 60\text{mm} = -0.010\text{mm} = -10\mu\text{m}$

$$ei = d_{\min} - d = 59.971\text{mm} - 60\text{mm} = -0.029\text{mm} = -29\mu\text{m}$$

2) 孔的实际偏差  $= 60.010\text{mm} - 60\text{mm} = +0.010\text{mm} = +10\mu\text{m}$

轴的实际偏差  $= 59.980\text{mm} - 60\text{mm} = -0.020\text{mm} = -20\mu\text{m}$

3) 孔的公差  $T_D = D_{\max} - D_{\min} = 60.030\text{mm} - 60\text{mm} = 0.030\text{mm} = 30\mu\text{m}$

轴的公差  $T_d = d_{\max} - d_{\min} = 59.990\text{mm} - 59.971\text{mm} = 0.019\text{mm} = 19\mu\text{m}$

4) 绘制公差带图, 如图 2-4 所示。

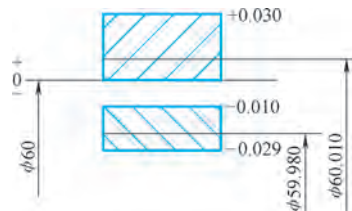


图 2-4 例 2-1 图

## 2.1.3 有关配合的术语

### 1. 间隙和过盈

孔的尺寸减去与之相配合的轴的尺寸所得的代数差, 此差为正值时即为间隙, 用  $X$  表示; 为负值时即为过盈, 用  $Y$  表示。

### 2. 配合

配合即公称尺寸相同, 相互结合的孔与轴公差带之间的关系。它反映了相互结合的零件之间结合的松紧程度。配合分为间隙配合、过盈配合和过渡配合。

(1) 间隙配合 具有间隙的配合即间隙配合, 包括最小间隙为零的配合。间隙配合孔的公差带在轴的公差带上方, 如图 2-5 所示。其孔、轴极限尺寸的关系为  $D_{\min} \geq d_{\max}$ 。

1) 最大间隙 ( $X_{\max}$ )。孔的上极限尺寸减去轴的下极限尺寸, 或孔的上极限偏差减去轴的下极限偏差所得的代数差。

2) 最小间隙 ( $X_{\min}$ )。孔的下极限尺寸减去轴的上极限尺寸, 或孔的下极限偏差减去轴的上极限偏差所得的代数差。

3) 平均间隙 ( $X_m$ )。最大间隙与最小间隙的平均值。用公式表示为

$$X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei \quad (2-5)$$



图 2-5 间隙配合尺寸示例

$$X_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es \quad (2-6)$$

$$X_m = (X_{\max} + X_{\min}) / 2 \quad (2-7)$$

(2) 过盈配合 具有过盈的配合即过盈配合, 包括最小过盈为零的配合。过盈配合孔的公差带在轴的公差带下方, 如图 2-6 所示。其孔、轴极限尺寸的关系为  $D_{\max} \leq d_{\min}$ 。



图 2-6 过盈配合尺寸示例

1) 最大过盈 ( $Y_{\max}$ ): 孔的下极限尺寸减去轴的上极限尺寸, 或孔的下极限偏差减去轴的上极限偏差所得的代数差。

2) 最小过盈 ( $Y_{\min}$ ): 孔的上极限尺寸减去轴的下极限尺寸, 或孔的上极限偏差减去轴的下极限偏差所得的代数差。

3) 平均过盈 ( $Y_m$ )。最大过盈与最小过盈的平均值。用公式表示为

$$Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es \quad (2-8)$$

$$Y_{\min} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei \quad (2-9)$$

$$Y_m = (Y_{\max} + Y_{\min}) / 2 \quad (2-10)$$

(3) 过渡配合 可能具有间隙或过盈的配合是过渡配合。其孔的公差带与轴的公差带相互交叠, 如图 2-7 所示。其孔、轴极限尺寸的关系为  $D_{\max} > d_{\min}$ , 且  $D_{\min} < d_{\max}$ 。

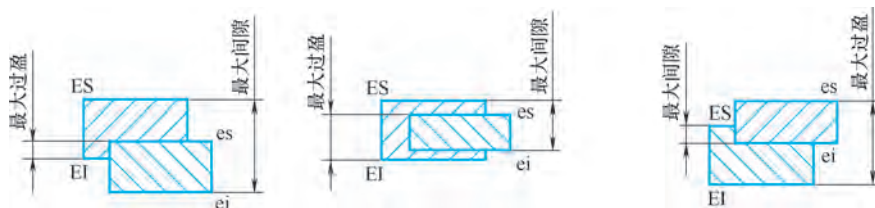


图 2-7 过渡配合尺寸示例

在过渡配合中, 随着孔、轴的实际尺寸在其极限尺寸范围内变化, 配合的松紧程度会发生变化, 可能从最大间隙变化到最大过盈。最大间隙与最大过盈的代数和为正值时是平均间隙 ( $X_m$ ), 为负值时是平均过盈 ( $Y_m$ )。用公式表示为

$$X_m (\text{或 } Y_m) = (X_{\max} + Y_{\max}) / 2 \quad (2-11)$$

必须指出: 间隙配合、过盈配合和过渡配合是对于一批孔和轴而言, 具体到一对孔与轴装配后, 只能出现要么是间隙要么是过盈, 包括间隙或过盈为零的情况, 而不会出现过渡配合的情况。例如, 一批尺寸为孔  $\phi 80_{+0.030}^{+0.030} \text{ mm}$  与轴  $\phi 80_{+0.011}^{+0.030} \text{ mm}$  加工后, 在一批合格零件中随机挑选进行装配, 结果就会出现有过盈、有间隙的情况。

### 3. 配合公差与配合公差带

配合公差是指相互配合的孔与轴, 允许其配合间隙或过盈的变动量, 表明配合松紧的变化程度, 是衡量配合精度的重要指标。

配合公差可用配合公差带图表示,它是由代表极限间隙或过盈的两条直线所限定的区域,如图 2-8 所示。图中,零线代表间隙或过盈等于零。零线以上表示间隙,零线以下表示过盈。因此,配合公差带在零线以上表示间隙配合;在零线以下表示过盈配合;位于零线两侧表示过渡配合。

配合公差带有大小和位置两个要素。其大小由配合公差确定;其位置由极限间隙或极限过盈确定。

配合公差用  $T_f$  表示。间隙配合的配合公差为最大间隙与最小间隙之差的绝对值;过盈配合的配合公差为最大过盈与最小过盈之差的绝对值;过渡配合的配合公差为最大间隙与最大过盈之差的绝对值。用公式表示为

$$\text{间隙配合} \quad T_f = |X_{\max} - X_{\min}| = T_D + T_d \quad (2-12)$$

$$\text{过盈配合} \quad T_f = |Y_{\max} - Y_{\min}| = T_D + T_d \quad (2-13)$$

$$\text{过渡配合} \quad T_f = |X_{\max} - Y_{\max}| = T_D + T_d \quad (2-14)$$

**例 2-2** 已知孔  $\phi 35^{+0.021}_0 \text{ mm}$  与轴  $\phi 35^{+0.028}_{+0.015} \text{ mm}$  组成过渡配合,求极限间隙或过盈、配合公差、平均间隙或过盈,并画出公差带图。

**解** 1) 由式 (2-5) 计算最大间隙

$$X_{\max} = ES - ei = (+0.021) \text{ mm} - (+0.015) \text{ mm} = +0.006 \text{ mm} = +6 \mu\text{m}$$

由式 (2-8) 计算最大过盈

$$Y_{\max} = EI - es = 0 \text{ mm} - (+0.028) \text{ mm} = -0.028 \text{ mm} = -28 \mu\text{m}$$

由式 (2-11) 计算平均过盈

$$Y_m = (X_{\max} + Y_{\max}) / 2 = -0.011 \text{ mm} = -11 \mu\text{m}$$

由式 (2-14) 计算配合公差

$$T_f = |X_{\max} - Y_{\max}| = |(+0.006) - (-0.028)| \text{ mm} = 0.034 \text{ mm} = 34 \mu\text{m}$$

2) 画公差带图,如图 2-9 所示。

**例 2-3** 设某配合的公称尺寸为  $\phi 60 \text{ mm}$ ,配合公差  $T_f = 49 \mu\text{m}$ ,最大间隙  $X_{\max} = 19 \mu\text{m}$ ,孔的尺寸公差  $T_D = 30 \mu\text{m}$ ,轴的下极限偏差  $ei = +11 \mu\text{m}$ 。试绘制孔、轴的尺寸公差带图和配合公差带图,并说明配合类别。

**解** 根据公式  $T_f = T_D + T_d$

$$\text{得} \quad T_d = T_f - T_D = (49 - 30) \mu\text{m} = 19 \mu\text{m}$$

$$\text{由式 (2-4)} \quad T_d = es - ei$$

$$\text{得} \quad es = T_d + ei = [19 + (+11)] \mu\text{m} = 30 \mu\text{m}$$

故轴的尺寸为  $\phi 60^{+0.030}_{+0.011} \text{ mm}$ 。

$$\text{由式 (2-5)} \quad X_{\max} = ES - ei$$

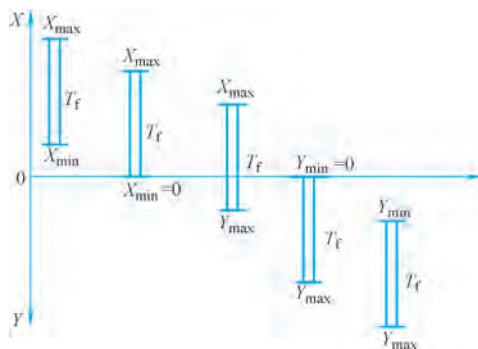


图 2-8 配合公差带图

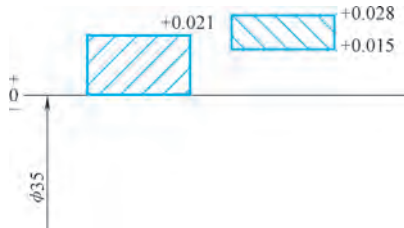


图 2-9 例 2-2 图

得  $ES = X_{\max} + ei = [19 + (+11)] \mu\text{m} = +30 \mu\text{m}$

由式 (2-3)  $T_D = ES - EI$

得  $EI = ES - T_D = (30 - 30) \mu\text{m} = 0$

故孔的尺寸为  $\phi 60^{+0.030}_0 \text{ mm}$ 。

该孔与轴的尺寸公差带图、配合公差带图如图 2-10 所示。该配合为过渡配合。

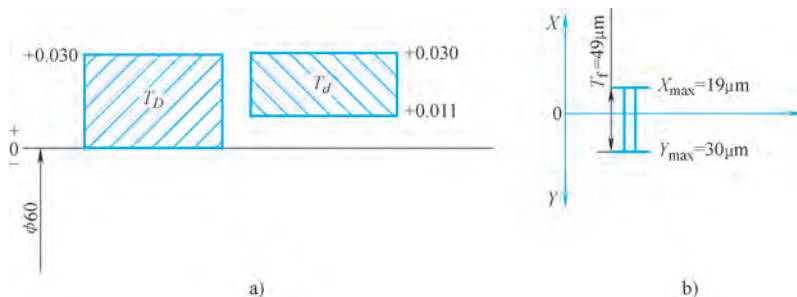


图 2-10 例 2-3 图

a) 尺寸公差带图 b) 配合公差带图

**例 2-4** 设某配合的公称尺寸为  $\phi 15 \text{ mm}$ ，配合公差  $T_f = 19 \mu\text{m}$ ，轴的上极限偏差  $es = 0$ ，最小过盈  $Y_{\min} = -1 \mu\text{m}$ ，孔的尺寸公差  $T_D = 11 \mu\text{m}$ 。试绘制孔、轴的尺寸公差带图和配合公差带图，并说明配合类别。

**解** 根据公式  $T_f = T_D + T_d$

得  $T_d = T_f - T_D = (19 - 11) \mu\text{m} = 8 \mu\text{m}$

由式 (2-4)  $T_d = es - ei$

得  $ei = es - T_d = (0 - 8) \mu\text{m} = -8 \mu\text{m}$

故轴的尺寸为  $\phi 15^{0}_{-0.008} \text{ mm}$ 。

由式 (2-9)  $Y_{\min} = ES - ei$

得  $ES = Y_{\min} + ei = [(-1) + (-8)] \mu\text{m} = -9 \mu\text{m}$

由式 (2-3)  $T_D = ES - EI$

得  $EI = ES - T_D = (-9 - 11) \mu\text{m} = -20 \mu\text{m}$

故孔的尺寸为  $\phi 15^{-0.009}_{-0.020} \text{ mm}$ 。

该孔与轴的尺寸公差带图、配合公差带图如图 2-11 所示。该配合为过盈配合。

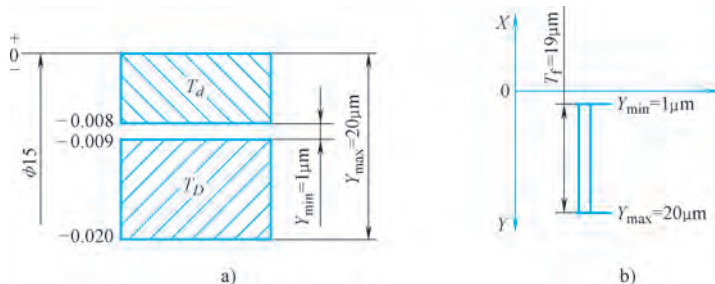


图 2-11 例 2-4 图

a) 尺寸公差带图 b) 配合公差带图

## 2.2 极限与配合国家标准

极限与配合国家标准是为了满足零件的互换性要求,对零件的加工尺寸误差加以控制所给出的加工精度要求,用标准的形式做出的统一规定,主要包括公差带标准化,配合标准化。

### 2.2.1 公差带标准化

公差带标准化,就是将公差带的大小和位置标准化,为此,国家标准规定了标准公差系列和基本偏差系列。

#### 1. 标准公差系列——公差带大小标准化

标准公差系列是指极限与配合国家标准制定的一系列标准公差数值。标准公差由“公差等级”和“公称尺寸”决定。

(1) 公差等级 确定尺寸精度的等级即公差等级。国家标准将公差等级分为 20 级,依次表示为 IT01、IT0、IT1、…、IT18。其中 IT 表示标准公差,即国际公差 (ISO Tolerance) 的缩写代号,如 IT7 表示 7 级标准公差。

从 IT01 至 IT18,公差等级精度依次降低,相应的标准公差值依次增大,相同尺寸情况下加工越容易。同一公差等级,虽然公差值随着公称尺寸的不同而变化,但它们具有相同的精度。对同一公称尺寸的孔和轴,其标准公差值取决于公差等级的高低。公差等级越高,其公差值越小;公差等级越低,其公差值越大。

#### (2) 标准公差的计算及规律

1) 国家标准给出的公称尺寸 $\leq 3150\text{mm}$ 、公差等级为 IT1~IT18 的标准公差计算公式见表 2-1。

表 2-1 IT1~IT18 标准公差计算公式 (公称尺寸 $\leq 3150\text{mm}$ ,摘自 GB/T 1800.1—2009)

| 公称尺寸<br>/mm |      | 标准公差等级                  |        |        |      |      |       |       |       |       |
|-------------|------|-------------------------|--------|--------|------|------|-------|-------|-------|-------|
|             |      | IT1                     | IT2    | IT3    | IT4  | IT5  | IT6   | IT7   | IT8   | IT9   |
| 大于          | 至    | 标准公差计算公式/ $\mu\text{m}$ |        |        |      |      |       |       |       |       |
| —           | 500  | —                       | —      | —      | —    | $7i$ | $10i$ | $16i$ | $25i$ | $40i$ |
| 500         | 3150 | $2I$                    | $2.7I$ | $3.7I$ | $5I$ | $7I$ | $10I$ | $16I$ | $25I$ | $40I$ |

| 公称尺寸<br>/mm |      | 标准公差等级                  |        |        |        |        |        |         |         |         |
|-------------|------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
|             |      | IT10                    | IT11   | IT12   | IT13   | IT14   | IT15   | IT16    | IT17    | IT18    |
| 大于          | 至    | 标准公差计算公式/ $\mu\text{m}$ |        |        |        |        |        |         |         |         |
| —           | 500  | $64i$                   | $100i$ | $160i$ | $250i$ | $400i$ | $640i$ | $1000i$ | $1600i$ | $2500i$ |
| 500         | 3150 | $64I$                   | $100I$ | $160I$ | $250I$ | $400I$ | $640I$ | $1000I$ | $1600I$ | $2500I$ |

注: 1. 从 IT6 起,其规律是每增加 5 个公差等级,标准公差值增加至 10 倍。

2. 表中公称尺寸 $\leq 500\text{mm}$  的 IT1~IT4 的标准公差计算式见表 2-2。

2) 公称尺寸 $\leq 500\text{mm}$  的 IT01~IT4 标准公差计算公式见表 2-2。

表 2-2 公称尺寸 $\leq 500\text{mm}$  的 IT01~IT4 标准公差计算公式 (摘自 GB/T 1800.1—2009)(单位:  $\mu\text{m}$ )

| 标准公差等级 | 标准公差计算公式     | 标准公差等级 | 标准公差计算公式                     |
|--------|--------------|--------|------------------------------|
| IT01   | $0.3+0.008D$ | IT2    | $IT1 \times (IT5/IT1)^{1/4}$ |
| IT0    | $0.5+0.012D$ | IT3    | $IT1 \times (IT5/IT1)^{1/2}$ |
| IT1    | $0.8+0.020D$ | IT4    | $IT1 \times (IT5/IT1)^{3/4}$ |

注: 式中  $D$  为公称尺寸段的几何平均值。

表 2-1 中,  $i$  和  $I$  是用来确定标准公差的基本单位, 称为标准公差因子。标准公差值、标准公差因子和公称尺寸之间的关系为

$$IT = ai \quad \text{或} \quad IT = aI \quad (2-15)$$

式中  $a$ ——公差等级系数, 表 2-1 中已列出。从 IT6~IT8 的公差等级系数采用优先数系 R5 系列;

$i$  和  $I$ ——标准公差因子 ( $\mu\text{m}$ )。

当  $D \leq 500\text{mm}$  时,  $IT = ai$ ; 其中,  $i = 0.45\sqrt[3]{D} + 0.001D$ 。

当  $500\text{mm} < D \leq 3150\text{mm}$  时,  $IT = aI$ ; 其中,  $I = 0.004D + 2.1$ 。

式中  $D$ ——公称尺寸段的几何平均值 (mm)。

(3) 标准公差数值 在公称尺寸和公差等级确定的情况下, 按照上述标准公差计算公式, 计算出公差等级在 IT1~IT18、公称尺寸至 500mm 的标准公差数值见表 2-3。由表可见, 标准公差数值与公称尺寸分段和公差等级有关。

表 2-3 标准公差数值 (公称尺寸 $\leq 500\text{mm}$ , 摘自 GB/T 1800.2—2009)

| 公称尺寸<br>/mm |     | 标 准 公 差 等 级 |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|-----|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             |     | IT1         | IT2 | IT3 | IT4 | IT5 | IT6 | IT7 | IT8 | IT9 | IT10 | IT11 | IT12 | IT13 | IT14 | IT15 | IT16 | IT17 | IT18 |
| 大于          | 至   | μm          |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      | mm   |      |      |      |      |      |      |
| —           | 3   | 0.8         | 1.2 | 2   | 3   | 4   | 6   | 10  | 14  | 25  | 40   | 60   | 0.1  | 0.14 | 0.25 | 0.4  | 0.6  | 1    | 1.4  |
| 3           | 6   | 1           | 1.5 | 2.5 | 4   | 5   | 8   | 12  | 18  | 30  | 48   | 75   | 0.12 | 0.18 | 0.3  | 0.48 | 0.75 | 1.2  | 1.8  |
| 6           | 10  | 1           | 1.5 | 2.5 | 4   | 6   | 9   | 15  | 22  | 36  | 58   | 90   | 0.15 | 0.22 | 0.36 | 0.58 | 0.9  | 1.5  | 2.2  |
| 10          | 18  | 1.2         | 2   | 3   | 5   | 8   | 11  | 18  | 27  | 43  | 70   | 110  | 0.18 | 0.27 | 0.43 | 0.7  | 1.1  | 1.8  | 2.7  |
| 18          | 30  | 1.5         | 2.5 | 4   | 6   | 9   | 13  | 21  | 33  | 52  | 84   | 130  | 0.21 | 0.33 | 0.52 | 0.84 | 1.3  | 2.1  | 3.3  |
| 30          | 50  | 1.5         | 2.5 | 4   | 7   | 11  | 16  | 25  | 39  | 62  | 100  | 160  | 0.25 | 0.39 | 0.62 | 1    | 1.6  | 2.5  | 3.9  |
| 50          | 80  | 2           | 3   | 5   | 8   | 13  | 19  | 30  | 46  | 74  | 120  | 190  | 0.3  | 0.46 | 0.74 | 1.2  | 1.9  | 3    | 4.6  |
| 80          | 120 | 2.5         | 4   | 6   | 10  | 15  | 22  | 35  | 54  | 87  | 140  | 220  | 0.35 | 0.54 | 0.87 | 1.4  | 2.2  | 3.5  | 5.4  |
| 120         | 180 | 3.5         | 5   | 8   | 12  | 18  | 25  | 40  | 63  | 100 | 160  | 250  | 0.4  | 0.63 | 1    | 1.6  | 2.5  | 4    | 6.3  |
| 180         | 250 | 4.5         | 7   | 10  | 14  | 20  | 29  | 46  | 72  | 115 | 185  | 290  | 0.46 | 0.72 | 1.15 | 1.85 | 2.9  | 4.6  | 7.2  |
| 250         | 315 | 6           | 8   | 12  | 16  | 23  | 32  | 52  | 81  | 130 | 210  | 320  | 0.52 | 0.81 | 1.3  | 2.1  | 3.2  | 5.2  | 8.1  |
| 315         | 400 | 7           | 9   | 13  | 18  | 25  | 36  | 57  | 89  | 140 | 230  | 360  | 0.57 | 0.89 | 1.4  | 2.3  | 3.6  | 5.7  | 8.9  |
| 400         | 500 | 8           | 10  | 15  | 20  | 27  | 40  | 63  | 97  | 155 | 250  | 400  | 0.63 | 0.97 | 1.55 | 2.5  | 4    | 6.3  | 9.7  |

注: 1. 公称尺寸小于或等于 1mm 时, 无 IT14~IT18。

2. 对于 IT0 和 IT01 公差等级的标准公差数值, 因它们在工业中应用较少, 在此不予列出。

(4) 公称尺寸分段 根据表 2-1 和表 2-2 所给出的标准公差值的计算式, 不同的公称尺寸就有相应的公差值, 在生产实践中, 因尺寸很多, 会使公差表格非常庞大。为了简化表格, 便于应用, GB/T 1800.1—2009 对公称尺寸进行了分段。

尺寸分段后, 对同一尺寸分段内的所有公称尺寸, 在相同公差等级的情况下, 规定相同的标准公差。

计算公差数值时, 以尺寸分段的首尾两项  $D_1$  和  $D_2$  的几何平均值  $D = \sqrt{D_1 D_2}$  代入公式中计算后, 必须对计算的数值尾数进行修正。

**例 2-5** 计算公称尺寸分段为  $>30 \sim 50\text{mm}$ , IT7 和 IT1 的标准公差数值。

**解** 公称尺寸段的几何平均值  $D = \sqrt{30 \times 50}\text{mm} = 38.73\text{mm}$

因  $D \leq 500\text{mm}$  时, 标准公差因子  $i = 0.45 \sqrt[3]{D} + 0.001D$

计算得  $i = 1.56\mu\text{m}$

由表 2-1 查  $D \leq 500\text{mm}$  时,  $\text{IT7} = 16i = (16 \times 1.56)\mu\text{m} = 25\mu\text{m}$ 。

计算结果与表 2-3 标准公差数值所列相同。

由表 2-2 查  $\text{IT1} = 0.8\mu\text{m} + 0.020D = 1.57\mu\text{m}$ 。

经修正后取  $\text{IT1} = 1.5\mu\text{m}$ 。

计算结果与表 2-3 标准公差数值所列相同。

表 2-3 中所列标准公差数值是经过计算和尾数修正后的各尺寸段的标准公差值, 工程应用中可直接查表。

## 2. 基本偏差系列——公差带位置标准化

(1) 基本偏差代号及其特点 极限与配合国家标准规定, 用来确定公差带相对零线位置的极限偏差, 叫作基本偏差, 一般为靠近零线的那个偏差。它是决定公差带位置的参数, 当尺寸公差带在零线以上时, 基本偏差为下极限偏差 EI 或 ei, 当尺寸公差带在零线以下时, 基本偏差为上极限偏差 ES 或 es, 因此基本偏差可以是上极限偏差, 也可以是下极限偏差, 如图 2-12 所示。

为了使公差带位置标准化, 国家标准规定孔和轴各有 28 种基本偏差代号。在 26 个英文字母中, 除去易与其他字母及含义混淆的字母 I (i)、L (l)、O (o)、Q (q)、W (w) 不采用外, 增加 7 个双字母组合 CD (cd)、EF (ef)、FG (fg)、JS (js)、ZA (za)、ZB (zb)、ZC (zc)。孔的基本偏差代号用大写字母表示, 从 A 到 ZC; 轴的基本偏差代号用小写字母表示, 从 a 到 zc。这 28 种基本偏差代号确定了 28 类公差带的位置, 即构成了基本偏差系列, 如图 2-13 所示。

在基本偏差系列图中, 仅绘出了公差带的一端, 另一端未绘出, 因为它取决于标准公差值的大小。

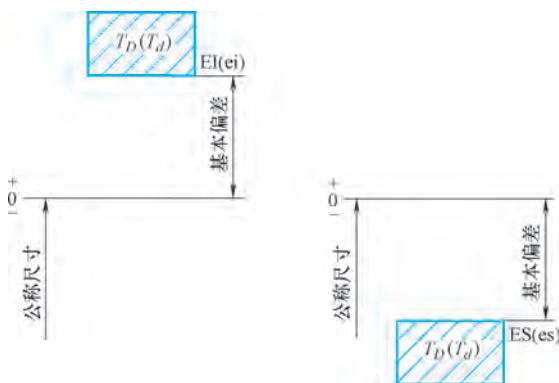


图 2-12 标准公差 基本偏差

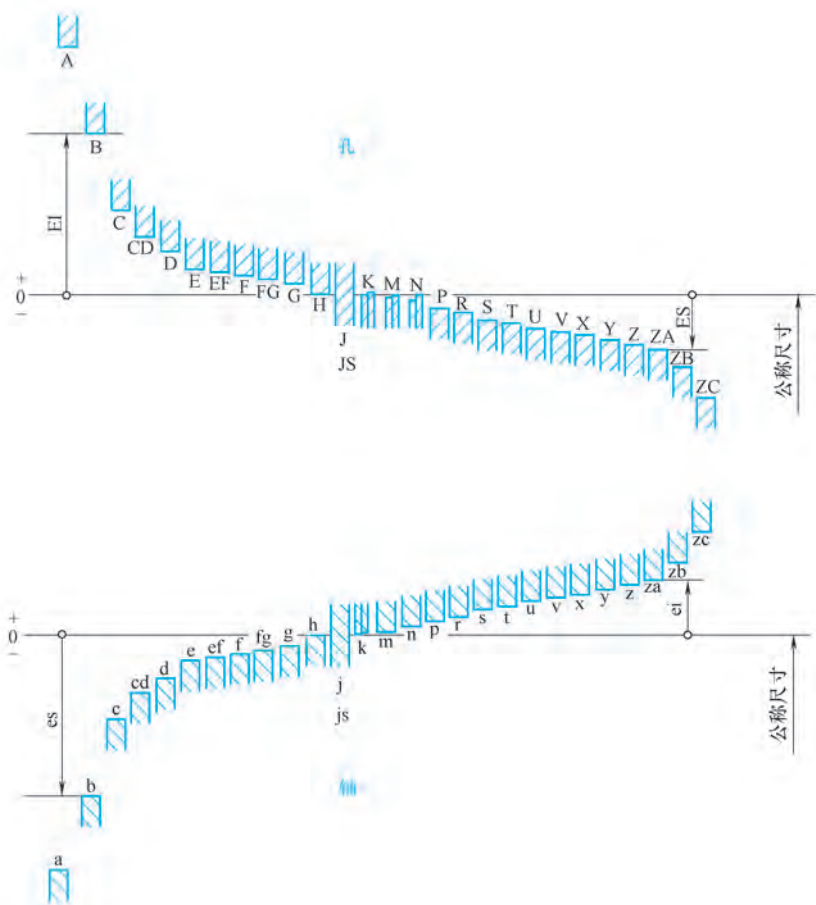


图 2-13 基本偏差系列

由图 2-13 可以看出, 基本偏差系列有下列特点:

1) 孔的基本偏差从 A~H 为下极限偏差 EI, 从 J~ZC 为上极限偏差 ES (JS 代号偏差除外); 轴的基本偏差从 a~h 为上极限偏差 es, 从 j~zc 为下极限偏差 ei (js 代号偏差除外)。

2) H 的基本偏差为下极限偏差且等于零, H 代表基准孔; h 的基本偏差为上极限偏差且等于零, h 代表基准轴。

3) JS、js 上、下极限偏差都可以看作是基本偏差, 因为它的公差带以零线对称, 上极限偏差是  $+IT/2$ , 下极限偏差是  $-IT/2$ 。

4) J、j 的公差带与 JS 和 js 很相近, 但其公差带不以零线对称, 它比较特殊 (J、j 与某些高精度的公差等级组成公差带时, 其基本偏差并不是靠近零线的那个偏差)。一般在基本偏差系列图中, 将 J、j 分别与 JS、js 的基本偏差代号放在同一位置。

5) 大多数情况下, 基本偏差与公差等级无关, 但有个别特殊情况与公差等级有关。图 2-13 中 k 的基本偏差画出两种情况以示区别, K、M 和 N 基本偏差也如此。

(2) 基本偏差数值 国家标准对于不同尺寸、不同公差等级的基本偏差做出了相应的规定, 其数值分别按照“孔的基本偏差数值表”和“轴的基本偏差数值表”给出。公称尺寸至 3150mm 的孔和轴的基本偏差数值分别见表 2-4 和表 2-5。

表 2-4 孔的基本偏

| 公称尺寸<br>/mm |      | 基本偏差     |      |      |     |      |      |     |      |    |     |   |    |     |     |     |          |
|-------------|------|----------|------|------|-----|------|------|-----|------|----|-----|---|----|-----|-----|-----|----------|
|             |      | 下极限偏差 EI |      |      |     |      |      |     |      |    |     |   |    |     |     |     |          |
|             |      | 所有标准公差等级 |      |      |     |      |      |     |      |    |     |   |    | IT6 | IT7 | IT8 | ≤<br>IT8 |
| 大于          | 至    | A        | B    | C    | CD  | D    | E    | EF  | F    | FG | G   | H | JS | IT6 | IT7 | IT8 | ><br>IT8 |
| —           | 3    | +270     | +140 | +60  | +34 | +20  | +14  | +10 | +6   | +4 | +2  | 0 |    | +2  | +4  | +6  | 0        |
| 3           | 6    | +270     | +140 | +70  | +46 | +30  | +20  | +14 | +10  | +6 | +4  | 0 |    | +5  | +6  | +10 | -1<br>+Δ |
| 6           | 10   | +280     | +150 | +80  | +56 | +40  | +25  | +18 | +13  | +8 | +5  | 0 |    | +5  | +8  | +12 | -1<br>+Δ |
| 10          | 14   |          |      |      |     |      |      |     |      |    |     |   |    |     |     |     |          |
| 14          | 18   | +290     | +150 | +95  |     | +50  | +32  |     | +16  |    | +6  | 0 |    | +6  | +10 | +15 | -1<br>+Δ |
| 18          | 24   | +300     | +160 | +110 |     | +65  | +40  |     | +20  |    | +7  | 0 |    | +8  | +12 | +20 | -2<br>+Δ |
| 24          | 30   |          |      |      |     |      |      |     |      |    |     |   |    |     |     |     |          |
| 30          | 40   | +310     | +170 | +120 |     | +80  | +50  |     | +25  |    | +9  | 0 |    | +10 | +14 | +24 | -2<br>+Δ |
| 40          | 50   | +320     | +180 | +130 |     |      |      |     | +25  |    |     |   |    |     |     |     |          |
| 50          | 65   | +340     | +190 | +140 |     | +100 | +60  |     | +30  |    | +10 | 0 |    | +13 | +18 | +28 | -2<br>+Δ |
| 65          | 80   | +360     | +200 | +150 |     |      |      |     | +30  |    |     |   |    |     |     |     |          |
| 80          | 100  | +380     | +220 | +170 |     | +120 | +72  |     | +36  |    | +12 | 0 |    | +16 | +22 | +34 | -3<br>+Δ |
| 100         | 120  | +410     | +240 | +180 |     |      |      |     |      |    |     |   |    |     |     |     |          |
| 120         | 140  | +460     | +260 | +200 |     |      |      |     |      |    |     |   |    |     |     |     |          |
| 140         | 160  | +520     | +280 | +210 |     | +145 | +85  |     | +43  |    | +14 | 0 |    | +18 | +26 | +41 | -3<br>+Δ |
| 160         | 180  | +580     | +310 | +230 |     |      |      |     |      |    |     |   |    |     |     |     |          |
| 180         | 200  | +660     | +340 | +240 |     |      |      |     |      |    |     |   |    |     |     |     |          |
| 200         | 225  | +740     | +380 | +260 |     | +170 | +100 |     | +50  |    | +15 | 0 |    | +22 | +30 | +47 | -4<br>+Δ |
| 225         | 250  | +820     | +420 | +280 |     |      |      |     |      |    |     |   |    |     |     |     |          |
| 250         | 280  | +920     | +480 | +300 |     | +190 | +110 |     | +56  |    | +17 | 0 |    | +25 | +36 | +55 | -4<br>+Δ |
| 280         | 315  | +1050    | +540 | +330 |     |      |      |     |      |    |     |   |    |     |     |     |          |
| 315         | 355  | +1200    | +600 | +360 |     | +210 | +125 |     | +62  |    | +18 | 0 |    | +29 | +39 | +60 | -4<br>+Δ |
| 355         | 400  | +1350    | +680 | +400 |     |      |      |     |      |    |     |   |    |     |     |     |          |
| 400         | 450  | +1500    | +760 | +440 |     | +230 | +135 |     | +68  |    | +20 | 0 |    | +33 | +43 | +66 | -5<br>+Δ |
| 450         | 500  | +1650    | +840 | +480 |     |      |      |     |      |    |     |   |    |     |     |     |          |
| 500         | 560  |          |      |      |     |      |      |     |      |    |     |   |    |     |     |     |          |
| 560         | 630  |          |      |      |     | +260 | +145 |     | +76  |    | +22 | 0 |    |     |     |     |          |
| 630         | 710  |          |      |      |     |      |      |     |      |    |     |   |    |     |     |     |          |
| 710         | 800  |          |      |      |     | +290 | +160 |     | +80  |    | +24 | 0 |    |     |     |     |          |
| 800         | 900  |          |      |      |     |      |      |     |      |    |     |   |    |     |     |     |          |
| 900         | 1000 |          |      |      |     | +320 | +170 |     | +86  |    | +26 | 0 |    |     |     |     |          |
| 1000        | 1120 |          |      |      |     |      |      |     |      |    |     |   |    |     |     |     |          |
| 1120        | 1250 |          |      |      |     | +350 | +195 |     | +98  |    | +28 | 0 |    |     |     |     |          |
| 1250        | 1400 |          |      |      |     |      |      |     |      |    |     |   |    |     |     |     |          |
| 1400        | 1600 |          |      |      |     | +390 | +220 |     | +110 |    | +30 | 0 |    |     |     |     |          |
| 1600        | 1800 |          |      |      |     |      |      |     |      |    |     |   |    |     |     |     |          |
| 1800        | 2000 |          |      |      |     | +430 | +240 |     | +120 |    | +32 | 0 |    |     |     |     |          |
| 2000        | 2240 |          |      |      |     |      |      |     |      |    |     |   |    |     |     |     |          |
| 2240        | 2500 |          |      |      |     | +480 | +260 |     | +130 |    | +34 | 0 |    |     |     |     |          |
| 2500        | 2800 |          |      |      |     |      |      |     |      |    |     |   |    |     |     |     |          |
| 2800        | 3150 |          |      |      |     | +520 | +290 |     | +145 |    | +38 | 0 |    |     |     |     |          |

注：1. 公称尺寸 ≤ 1mm 时，基本偏差 A 和 B 及 > IT8 的 N 均不采用。

2. 公差带 JS7~JS11，若  $IT_n$  数值是奇数，则取偏差为  $\pm \frac{IT_n - 1}{2}$ 。

3. 对 ≤ IT8 的 K、M、N 和 ≤ IT7 的 P~ZC，所需 Δ 值从表内右侧选取。例如：18~30mm 段的 K7：Δ = 8μm，所以 ES = -2 + 8 = +6μm；18~30mm 段的 S6：Δ = 4μm，所以 ES = -35 + 4 = -31μm。

4. 特殊情况：250~315mm 段的 M6，ES = -9μm（代替 -11μm）。

差数值 (摘自 GB/T 1800.1—2009)

(单位:  $\mu\text{m}$ )

| 数值                              |            |       |       |       |       |      |      |       |       |       |       |       | Δ 值    |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 上极限偏差 ES                        |            |       |       |       |       |      |      |       |       |       |       |       |        |     |     |     |     |     |     |
| ≤<br>IT7                        | 标准公差等级>IT7 |       |       |       |       |      |      |       |       |       |       |       | 标准公差等级 |     |     |     |     |     |     |
| P 至 ZC                          | P          | R     | S     | T     | U     | V    | X    | Y     | Z     | ZA    | ZB    | ZC    | IT3    | IT4 | IT5 | IT6 | IT7 | IT8 |     |
| 在>IT7<br>的相应<br>数值上<br>增加一个 Δ 值 | -6         | -10   | -14   |       | -18   |      | -20  |       | -26   | -32   | -40   | -60   | 0      | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |     |
|                                 | -12        | -15   | -19   |       | -23   |      | -28  |       | -35   | -42   | -50   | -80   | 1      | 1.5 | 1   | 3   | 4   | 6   |     |
|                                 | -15        | -19   | -23   |       | -28   |      | -34  |       | -42   | -52   | -67   | -97   | 1      | 1.5 | 2   | 3   | 6   | 7   |     |
|                                 | -18        | -23   | -28   |       | -33   |      | -40  |       | -50   | -64   | -90   | -130  | 1      | 2   | 3   | 3   | 7   | 9   |     |
|                                 |            |       |       |       |       | -39  | -45  |       | -60   | -77   | -108  | -150  |        |     |     |     |     |     |     |
|                                 | -22        | -28   | -35   |       | -41   | -47  | -54  | -63   | -73   | -98   | -136  | -188  | 1.5    | 2   | 3   | 4   | 8   | 12  |     |
|                                 |            |       |       |       |       |      |      |       |       |       |       |       |        |     |     |     |     |     | -48 |
|                                 | -26        | -34   | -43   |       | -48   | -60  | -68  | -80   | -94   | -112  | -148  | -200  | -274   | 1.5 | 3   | 4   | 5   | 9   | 14  |
|                                 |            |       |       |       |       |      |      |       |       |       |       |       |        |     |     |     |     |     |     |
|                                 | -32        | -41   | -53   | -66   | -87   | -102 | -122 | -144  | -172  | -226  | -300  | -405  | -480   | 2   | 3   | 5   | 6   | 11  | 16  |
|                                 |            |       |       |       |       |      |      |       |       |       |       |       |        |     |     |     |     |     |     |
|                                 | -37        | -51   | -71   | -91   | -124  | -146 | -178 | -214  | -258  | -335  | -445  | -585  | -690   | 2   | 4   | 5   | 7   | 13  | 19  |
|                                 |            |       |       |       |       |      |      |       |       |       |       |       |        |     |     |     |     |     |     |
|                                 | -43        | -63   | -92   | -122  | -170  | -202 | -248 | -300  | -365  | -470  | -620  | -800  | -900   | 3   | 4   | 6   | 7   | 15  | 23  |
|                                 |            | -65   | -100  | -134  | -190  | -228 | -280 | -340  | -415  | -535  | -700  | -900  |        |     |     |     |     |     |     |
|                                 |            | -68   | -108  | -146  | -210  | -252 | -310 | -380  | -465  | -600  | -780  | -1000 |        |     |     |     |     |     |     |
|                                 | -50        | -77   | -122  | -166  | -236  | -284 | -350 | -425  | -520  | -670  | -880  | -1150 | -1250  | 3   | 4   | 6   | 9   | 17  | 26  |
|                                 |            | -80   | -130  | -180  | -258  | -310 | -385 | -470  | -575  | -740  | -960  | -1250 |        |     |     |     |     |     |     |
|                                 |            | -84   | -140  | -196  | -284  | -340 | -425 | -520  | -640  | -820  | -1050 | -1350 |        |     |     |     |     |     |     |
|                                 | -56        | -94   | -158  | -218  | -315  | -385 | -475 | -580  | -710  | -920  | -1200 | -1550 | -1700  | 4   | 4   | 7   | 9   | 20  | 29  |
|                                 |            | -98   | -170  | -240  | -350  | -425 | -525 | -650  | -790  | -1000 | -1300 | -1700 |        |     |     |     |     |     |     |
|                                 | -62        | -108  | -190  | -268  | -390  | -475 | -590 | -730  | -900  | -1150 | -1500 | -1900 | -2100  | 4   | 5   | 7   | 11  | 21  | 32  |
|                                 |            | -114  | -208  | -294  | -435  | -530 | -660 | -820  | -1000 | -1300 | -1650 | -2100 |        |     |     |     |     |     |     |
|                                 | -68        | -126  | -232  | -330  | -490  | -595 | -740 | -920  | -1100 | -1450 | -1850 | -2400 | -2600  | 5   | 5   | 7   | 13  | 23  | 34  |
|                                 |            | -132  | -252  | -360  | -540  | -660 | -820 | -1000 | -1250 | -1600 | -2100 | -2600 |        |     |     |     |     |     |     |
|                                 | -78        | -150  | -280  | -400  | -600  |      |      |       |       |       |       |       |        |     |     |     |     |     |     |
|                                 |            | -155  | -310  | -450  | -660  |      |      |       |       |       |       |       |        |     |     |     |     |     |     |
|                                 | -88        | -175  | -340  | -500  | -740  |      |      |       |       |       |       |       |        |     |     |     |     |     |     |
|                                 |            | -185  | -380  | -560  | -840  |      |      |       |       |       |       |       |        |     |     |     |     |     |     |
|                                 | -100       | -210  | -430  | -620  | -940  |      |      |       |       |       |       |       |        |     |     |     |     |     |     |
|                                 |            | -220  | -470  | -680  | -1050 |      |      |       |       |       |       |       |        |     |     |     |     |     |     |
|                                 | -120       | -250  | -520  | -780  | -1150 |      |      |       |       |       |       |       |        |     |     |     |     |     |     |
|                                 |            | -260  | -580  | -840  | -1300 |      |      |       |       |       |       |       |        |     |     |     |     |     |     |
|                                 | -140       | -300  | -640  | -960  | -1450 |      |      |       |       |       |       |       |        |     |     |     |     |     |     |
|                                 |            | -330  | -720  | -1050 | -1600 |      |      |       |       |       |       |       |        |     |     |     |     |     |     |
|                                 | -170       | -370  | -820  | -1200 | -1850 |      |      |       |       |       |       |       |        |     |     |     |     |     |     |
| -400                            |            | -920  | -1350 | -2000 |       |      |      |       |       |       |       |       |        |     |     |     |     |     |     |
| -195                            | -440       | -1000 | -1500 | -2300 |       |      |      |       |       |       |       |       |        |     |     |     |     |     |     |
|                                 | -460       | -1100 | -1650 | -2500 |       |      |      |       |       |       |       |       |        |     |     |     |     |     |     |
| -240                            | -550       | -1250 | -1900 | -2900 |       |      |      |       |       |       |       |       |        |     |     |     |     |     |     |
|                                 | -580       | -1400 | -2100 | -3200 |       |      |      |       |       |       |       |       |        |     |     |     |     |     |     |

表 2-5 轴的基本偏

| 公称尺寸<br>/mm |      | 基本偏差     |      |      |     |      |      |     |      |    |     |   |                                                                  |                 |     |     |                 |                  |
|-------------|------|----------|------|------|-----|------|------|-----|------|----|-----|---|------------------------------------------------------------------|-----------------|-----|-----|-----------------|------------------|
|             |      | 上极限偏差 es |      |      |     |      |      |     |      |    |     |   |                                                                  |                 |     |     |                 |                  |
|             |      | 所有标准公差等级 |      |      |     |      |      |     |      |    |     |   |                                                                  | IT5<br>和<br>IT6 | IT7 | IT8 | IT4<br>至<br>IT7 | ≤<br>IT3<br>>IT7 |
| 大于          | 至    | a        | b    | c    | cd  | d    | e    | ef  | f    | fg | g   | h | js                                                               | j               |     |     | k               |                  |
| —           | 3    | -270     | -140 | -60  | -34 | -20  | -14  | -10 | -6   | -4 | -2  | 0 | 偏差 = ±<br>$\frac{IT_n}{2}$ ,<br>式中 IT <sub>n</sub><br>是 IT<br>值数 | -2              | -4  | -6  | 0               | 0                |
| 3           | 6    | -270     | -140 | -70  | -46 | -30  | -20  | -14 | -10  | -6 | -4  | 0 |                                                                  | -2              | -4  |     | +1              | 0                |
| 6           | 10   | -280     | -150 | -80  | -56 | -40  | -25  | -18 | -13  | -8 | -5  | 0 |                                                                  | -2              | -5  |     | +1              | 0                |
| 10          | 14   | -290     | -150 | -95  |     | -50  | -32  |     | -16  |    | -6  | 0 |                                                                  | -3              | -6  |     | +1              | 0                |
| 14          | 18   |          |      |      |     |      |      |     |      |    |     |   |                                                                  |                 |     |     |                 |                  |
| 18          | 24   | -300     | -160 | -110 |     | -65  | -40  |     | -20  |    | -7  | 0 |                                                                  | -4              | -8  |     | +2              | 0                |
| 24          | 30   |          |      |      |     |      |      |     |      |    |     |   |                                                                  |                 |     |     |                 |                  |
| 30          | 40   | -310     | -170 | -120 |     | -80  | -50  |     | -25  |    | -9  | 0 |                                                                  | -5              | -10 |     | +2              | 0                |
| 40          | 50   | -320     | -180 | -130 |     |      |      |     |      |    |     |   |                                                                  |                 |     |     |                 |                  |
| 50          | 65   | -340     | -190 | -140 |     | -100 | -60  |     | -30  |    | -10 | 0 |                                                                  | -7              | -12 |     | +2              | 0                |
| 65          | 80   | -360     | -200 | -150 |     |      |      |     |      |    |     |   |                                                                  |                 |     |     |                 |                  |
| 80          | 100  | -380     | -220 | -170 |     | -120 | -72  |     | -36  |    | -12 | 0 |                                                                  | -9              | -15 |     | +3              | 0                |
| 100         | 120  | -410     | -240 | -180 |     |      |      |     |      |    |     |   |                                                                  |                 |     |     |                 |                  |
| 120         | 140  | -460     | -260 | -200 |     | -145 | -85  |     | -43  |    | -14 | 0 |                                                                  | -11             | -18 |     | +3              | 0                |
| 140         | 160  | -520     | -280 | -210 |     |      |      |     |      |    |     |   |                                                                  |                 |     |     |                 |                  |
| 160         | 180  | -580     | -310 | -230 |     |      |      |     |      |    |     |   |                                                                  | -13             | -21 |     | +4              | 0                |
| 180         | 200  | -660     | -340 | -240 |     |      |      |     |      |    |     |   |                                                                  |                 |     |     |                 |                  |
| 200         | 225  | -740     | -380 | -260 |     | -170 | -100 |     | -50  |    | -15 | 0 |                                                                  | -16             | -26 |     | +4              | 0                |
| 225         | 250  | -820     | -420 | -280 |     |      |      |     |      |    |     |   |                                                                  |                 |     |     |                 |                  |
| 250         | 280  | -920     | -480 | -300 |     | -190 | -110 |     | -56  |    | -17 | 0 |                                                                  | -18             | -28 |     | +4              | 0                |
| 280         | 315  | -1050    | -540 | -330 |     |      |      |     |      |    |     |   |                                                                  |                 |     |     |                 |                  |
| 315         | 355  | -1200    | -600 | -360 |     | -210 | -125 |     | -62  |    | -18 | 0 |                                                                  | -20             | -32 |     | +5              | 0                |
| 355         | 400  | -1350    | -680 | -400 |     |      |      |     |      |    |     |   |                                                                  |                 |     |     |                 |                  |
| 400         | 450  | -1500    | -760 | -440 |     | -230 | -135 |     | -68  |    | -20 | 0 |                                                                  |                 |     |     |                 |                  |
| 450         | 500  | -1650    | -840 | -480 |     |      |      |     |      |    |     |   |                                                                  |                 |     |     |                 |                  |
| 500         | 560  |          |      |      |     | -260 | -145 |     | -76  |    | -22 | 0 |                                                                  |                 |     | 0   | 0               |                  |
| 560         | 630  |          |      |      |     |      |      |     |      |    |     |   |                                                                  |                 |     |     |                 |                  |
| 630         | 710  |          |      |      |     | -290 | -160 |     | -80  |    | -24 | 0 |                                                                  |                 |     | 0   | 0               |                  |
| 710         | 800  |          |      |      |     |      |      |     |      |    |     |   |                                                                  |                 |     |     |                 |                  |
| 800         | 900  |          |      |      |     | -320 | -170 |     | -86  |    | -26 | 0 |                                                                  |                 |     | 0   | 0               |                  |
| 900         | 1000 |          |      |      |     |      |      |     |      |    |     |   |                                                                  |                 |     |     |                 |                  |
| 1000        | 1120 |          |      |      |     | -350 | -195 |     | -98  |    | -28 | 0 |                                                                  |                 |     | 0   | 0               |                  |
| 1120        | 1250 |          |      |      |     |      |      |     |      |    |     |   |                                                                  |                 |     |     |                 |                  |
| 1250        | 1400 |          |      |      |     | -390 | -220 |     | -110 |    | -30 | 0 |                                                                  |                 |     | 0   | 0               |                  |
| 1400        | 1600 |          |      |      |     |      |      |     |      |    |     |   |                                                                  |                 |     |     |                 |                  |
| 1600        | 1800 |          |      |      |     | -430 | -240 |     | -120 |    | -32 | 0 |                                                                  |                 |     | 0   | 0               |                  |
| 1800        | 2000 |          |      |      |     |      |      |     |      |    |     |   |                                                                  |                 |     |     |                 |                  |
| 2000        | 2240 |          |      |      |     | -480 | -260 |     | -130 |    | -34 | 0 |                                                                  |                 |     | 0   | 0               |                  |
| 2240        | 2500 |          |      |      |     |      |      |     |      |    |     |   |                                                                  |                 |     |     |                 |                  |
| 2500        | 2800 |          |      |      |     | -520 | -290 |     | -145 |    | -38 | 0 |                                                                  |                 |     | 0   | 0               |                  |
| 2800        | 3150 |          |      |      |     |      |      |     |      |    |     |   |                                                                  |                 |     |     |                 |                  |

注：1. 公称尺寸 ≤ 1mm 时，基本偏差 a 和 b 均不采用。

2. 公差带 js7 ~ js11，若  $IT_n$  数值是奇数，则取偏差 =  $\pm \frac{IT_n - 1}{2}$ 。

差数值 (摘自 GB/T 1800.1—2009)

(单位:  $\mu\text{m}$ )

| 数值       |      |      |      |       |       |       |      |      |       |       |       |       |       |
|----------|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 下极限偏差 ei |      |      |      |       |       |       |      |      |       |       |       |       |       |
| 所有标准公差等级 |      |      |      |       |       |       |      |      |       |       |       |       |       |
| m        | n    | p    | r    | s     | t     | u     | v    | x    | y     | z     | za    | zb    | zc    |
| +2       | +4   | +6   | +10  | +14   |       | +18   |      | +20  |       | +26   | +32   | +40   | +60   |
| +4       | +8   | +12  | +15  | +19   |       | +23   |      | +28  |       | +35   | +42   | +50   | +80   |
| +6       | +10  | +15  | +19  | +23   |       | +28   |      | +34  |       | +42   | +52   | +67   | +97   |
| +7       | +12  | +18  | +23  | +28   |       | +33   |      | +40  |       | +50   | +64   | +90   | +130  |
|          |      |      |      |       |       |       | +39  | +45  |       | +60   | +77   | +108  | +150  |
| +8       | +15  | +22  | +28  | +35   |       | +41   | +47  | +54  | +63   | +73   | +98   | +136  | +188  |
|          |      |      |      |       | +41   | +48   | +55  | +64  | +75   | +88   | +118  | +160  | +218  |
| +9       | +17  | +26  | +34  | +43   | +48   | +60   | +68  | +80  | +94   | +112  | +148  | +200  | +274  |
|          |      |      |      |       | +54   | +70   | +81  | +97  | +114  | +136  | +180  | +242  | +325  |
| +11      | +20  | +32  | +41  | +53   | +66   | +87   | +102 | +122 | +144  | +172  | +226  | +300  | +405  |
|          |      |      | +43  | +59   | +75   | +102  | +120 | +146 | +174  | +210  | +274  | +360  | +480  |
| +13      | +23  | +37  | +51  | +71   | +91   | +124  | +146 | +178 | +214  | +258  | +335  | +445  | +585  |
|          |      |      | +54  | +79   | +104  | +144  | +172 | +210 | +254  | +310  | +400  | +525  | +690  |
| +15      | +27  | +43  | +63  | +92   | +122  | +170  | +202 | +248 | +300  | +365  | +470  | +620  | +800  |
|          |      |      | +65  | +100  | +134  | +190  | +228 | +280 | +340  | +415  | +535  | +700  | +900  |
|          |      |      | +68  | +108  | +146  | +210  | +252 | +310 | +380  | +465  | +600  | +780  | +1000 |
| +17      | +31  | +50  | +77  | +122  | +166  | +236  | +284 | +350 | +425  | +520  | +670  | +880  | +1150 |
|          |      |      | +80  | +130  | +180  | +258  | +310 | +385 | +470  | +575  | +740  | +960  | +1250 |
|          |      |      | +84  | +140  | +196  | +284  | +340 | +425 | +520  | +640  | +820  | +1050 | +1350 |
| +20      | +34  | +56  | +94  | +158  | +218  | +315  | +385 | +475 | +580  | +710  | +920  | +1200 | +1550 |
|          |      |      | +98  | +170  | +240  | +350  | +425 | +525 | +650  | +790  | +1000 | +1300 | +1700 |
| +21      | +37  | +62  | +108 | +190  | +268  | +390  | +475 | +590 | +730  | +900  | +1150 | +1500 | +1900 |
|          |      |      | +114 | +208  | +294  | +435  | +530 | +660 | +820  | +1000 | +1300 | +1650 | +2100 |
| +23      | +40  | +68  | +126 | +232  | +330  | +490  | +595 | +740 | +920  | +1100 | +1450 | +1850 | +2400 |
|          |      |      | +132 | +252  | +360  | +540  | +660 | +820 | +1000 | +1250 | +1600 | +2100 | +2600 |
| +26      | +44  | +78  | +150 | +280  | +400  | +600  |      |      |       |       |       |       |       |
|          |      |      | +155 | +310  | +450  | +660  |      |      |       |       |       |       |       |
| +30      | +50  | +88  | +175 | +340  | +500  | +740  |      |      |       |       |       |       |       |
|          |      |      | +185 | +380  | +560  | +840  |      |      |       |       |       |       |       |
| +34      | +56  | +100 | +210 | +430  | +620  | +940  |      |      |       |       |       |       |       |
|          |      |      | +220 | +470  | +680  | +1050 |      |      |       |       |       |       |       |
| +40      | +66  | +120 | +250 | +520  | +780  | +1150 |      |      |       |       |       |       |       |
|          |      |      | +260 | +580  | +840  | +1300 |      |      |       |       |       |       |       |
| +48      | +78  | +140 | +300 | +640  | +960  | +1450 |      |      |       |       |       |       |       |
|          |      |      | +330 | +720  | +1050 | +1600 |      |      |       |       |       |       |       |
| +58      | +92  | +170 | +370 | +820  | +1200 | +1850 |      |      |       |       |       |       |       |
|          |      |      | +400 | +920  | +1350 | +2000 |      |      |       |       |       |       |       |
| +68      | +110 | +195 | +440 | +1000 | +1500 | +2300 |      |      |       |       |       |       |       |
|          |      |      | +460 | +1100 | +1650 | +2500 |      |      |       |       |       |       |       |
| +76      | +135 | +240 | +550 | +1250 | +1900 | +2900 |      |      |       |       |       |       |       |
|          |      |      | +580 | +1400 | +2100 | +3200 |      |      |       |       |       |       |       |

由表 2-4 和表 2-5 可见, 相同代号的孔的基本偏差与轴的基本偏差相对于零线完全对称, 即孔与轴的基本偏差代号对应时 (如 A 对应 a), 两者的基本偏差绝对值相等、符号相反, 即  $ES = -ei$ ,  $EI = -es$ 。这一规则被称为通用规则。

通用规则适用于所有的基本偏差, 但以下情况例外:

1) 公称尺寸大于 3~500mm, 标准公差等级大于 IT8 (IT9、IT10...) 的孔的基本偏差 N, 其数值 (ES) 等于零。

2) 在公称尺寸大于 3~500mm 的基孔制或基轴制配合中, 给定某一公差等级的孔要与精度更高一级的轴相配 (如 H7/p6 和 P7/h6), 并要求具有相等的间隙或过盈。

在实际工作中, 只有在较高公差等级时才选用某一公差等级的孔与高一级的轴相配。因此国家标准规定, 对于公差等级低于 IT8 (如 IT9、IT10) 的 K、M、N 和公差等级低于 IT7 (如 IT8、IT9) 的 P~ZC, 按照通用规则  $ES = -ei$  确定孔的基本偏差数值, 以保证相同公差等级的孔、轴相配合时, 基轴制配合与相应的基孔制配合性质相同。对于公差等级高于或等于 IT8 (如 IT7、IT6) 的 K、M、N 和公差等级高于或等于 IT7 (如 IT6、IT5) 的 P~ZC, 则按照  $ES = -ei + \Delta$  ( $\Delta = IT_n - IT_{n-1}$ ,  $n$  为孔的公差等级) 来确定孔的基本偏差数值, 以保证某一公差等级的孔与高一级的轴相配时, 基轴制配合与相应的基孔制配合性质相同。这一规则被称为特殊规则。

已知公称尺寸、给定公差等级和基本偏差代号的一对孔与轴, 可根据表 2-3 查出其标准公差数值  $T_D$  或  $T_d$ , 根据表 2-4 或表 2-5 查得其基本偏差数值, 便可按照上、下极限偏差与标准公差值  $T_D$  ( $T_d$ ) 的关系确定孔与轴的另一个极限偏差值。即

$$EI = ES - T_D \quad (ei = es - T_d) \quad (2-16)$$

$$ES = EI + T_D \quad (es = ei + T_d) \quad (2-17)$$

例如, 查表并计算公称尺寸为  $\phi 30\text{mm}$  的孔, 其公差等级为 IT7 级, 偏差代号为 F 的基本偏差和极限偏差值。

查表 2-3, 对于公称尺寸  $\phi 30\text{mm}$ , IT7 =  $21\mu\text{m}$ , 偏差代号为 F, 查表 2-4, 其基本偏差为下极限偏差  $EI = 20\mu\text{m}$ 。

则计算孔的上极限偏差  $ES = EI + IT7 = 20\mu\text{m} + 21\mu\text{m} = 41\mu\text{m}$ 。

在工程实际中, 一般直接查阅尺寸极限偏差数值表 (GB/T 1800.2—2009) 即可。常用孔的极限偏差见附录 A, 常用轴的极限偏差见附录 B。

## 2.2.2 配合标准化

从尺寸公差带图可以看出, 孔、轴公差带的相互位置改变, 可以组成不同性质、不同松紧程度的配合。为了有利于标准化, 以尽可能少的标准公差带形成最多种的配合, 以两个配合件中的一个作基准件, 其公差带位置不变, 通过改变另一个零件的公差带位置来形成各种配合, 便可满足不同的使用要求, 且技术经济性好。这种孔、轴公差带组成的一种配合制度, 称为配合制。国家标准规定了两种等效的配合基准制, 即基孔制和基轴制。

### 1. 基孔制

以孔的公差带 H 为基准, 其位置不动而变动轴的公差带位置, 以得到松紧程度不同的各种配合, 这种配合制称为基孔制, 如图 2-14a 所示。

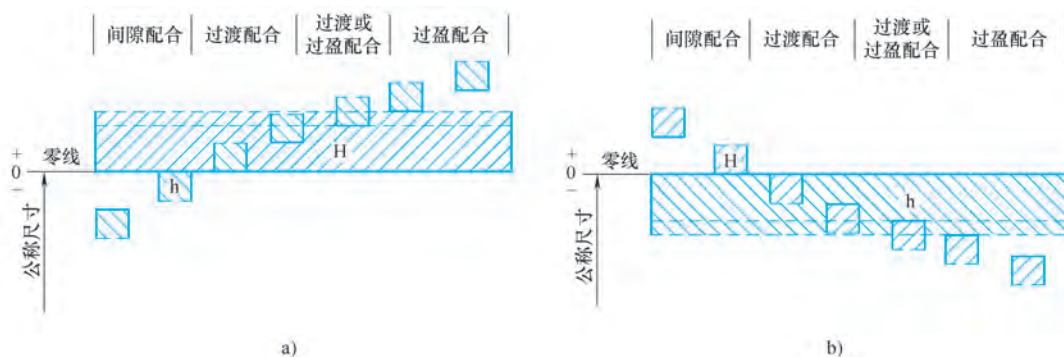


图 2-14 基准制

a) 基孔制 b) 基轴制

## 2. 基轴制

以轴的公差带  $h$  为基准，其位置不动而变动孔的公差带位置，以得到松紧程度不同的各种配合，这种配合制称为基轴制，如图 2-14b 所示。图中基准孔的 ES 边界、基准轴的 ei 边界是两道虚线，表示公差带大小可变。

### 2.2.3 公差与配合的标注

#### 1. 公差带与配合代号

公差带由公称尺寸、基本偏差代号与公差等级数字组成（省略 IT）。例如， $\phi 30H7$  表示公称尺寸为  $\phi 30\text{mm}$ 、公差等级为 IT7、基本偏差代号为 H 的孔公差带， $\phi 30f6$  表示公称尺寸为  $\phi 30\text{mm}$ 、公差等级为 IT6、基本偏差代号为 f 的轴公差带。如果这对孔与轴组成配合，则表示为  $\phi 30H7/f6$ 。这种将相配合的孔与轴的公差带代号写成分数形式，分子为孔的公差带代号，分母为轴的公差带代号，就称为配合代号，如  $\phi 50F7/h6$ 、 $\phi 60H8/f7$ 。组成配合的孔与轴，其公称尺寸相同。可见，配合代号表明了 4 个方面的含义：公称尺寸、公差等级、基准制和配合类别。

#### 2. 公差与配合在图样上的标注

在零件图样上标注尺寸公差的方法有下列三种：

- 1) 标注公称尺寸和公差带代号，如  $\phi 50H7$ 、 $\phi 50g6$ ，如图 2-15a 所示。
- 2) 标注公称尺寸和极限偏差值，如  $\phi 50_{-0.025}^{+0.009}\text{mm}$ ，如图 2-15b 所示。
- 3) 标注公称尺寸和公差带代号，括号内标出极限偏差值，如  $\phi 50g6 \left( \begin{smallmatrix} -0.009 \\ -0.025 \end{smallmatrix} \right)$ ，如图 2-15c 所示。

零件图样上大多数以第 2) 种方法标注。

装配图样上标注尺寸公差与配合的方法通常为：标注公称尺寸和孔、轴的公差带代号，其中，分子表示孔的公差带，分母表示轴的公差带，如  $\phi 50H7/g6$  或  $\phi 50 \frac{H7}{g6}$ ，标注如图 2-15d 所示。

#### 3. 实例分析

为了理解前述基本知识并掌握表格的查阅能力，下面举几个示例。

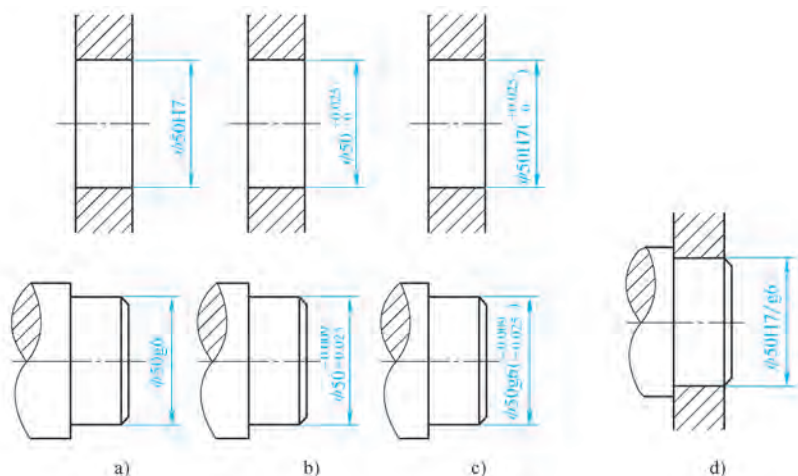


图 2-15 尺寸公差与配合在技术图样上的标注

**例 2-6** 查表确定  $\phi 20H8/f7$  和  $\phi 20F8/h7$  两对相配合的孔、轴极限偏差及配合间隙或过盈, 绘制其尺寸公差带图, 并加以比较。

**解** 查表 2-3 公称尺寸  $>18 \sim 30\text{mm}$  时,  $IT7 = 21\mu\text{m}$ ,  $IT8 = 33\mu\text{m}$ 。

1) 确定  $\phi 20H8/f7$  配合的孔、轴极限偏差及配合间隙。

对于孔 H8,  $EI = 0$

由式 (2-17) 得  $ES = EI + T_D$ ,  $ES = EI + IT8 = +33\mu\text{m}$ 。

对于轴 f7, 查表 2-5 得 f 的基本偏差为上极限偏差, 且  $es = -20\mu\text{m}$ 。

由式 (2-16) 得  $ei = es - T_d$ ,  $ei = es - IT7 = [(-20) - 21]\mu\text{m} = -41\mu\text{m}$ 。

由式 (2-5) 得  $X_{\max} = ES - ei = [(+33) - (-41)]\mu\text{m} = 74\mu\text{m}$ 。

$X_{\min} = EI - es = [0 - (-20)]\mu\text{m} = 20\mu\text{m}$ 。

绘制  $\phi 20H8/f7$  孔与轴尺寸公差带如图 2-16a 所示。

2) 确定  $\phi 20F8/h7$  配合的孔、轴极限偏差及配合间隙。

对于轴 h7,  $es = 0$

由式 (2-16) 得  $ei = es - T_d$ ,  $ei = es - IT7 = -21\mu\text{m}$ 。

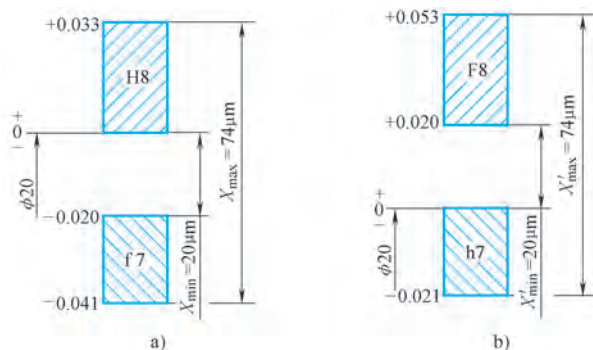
对于孔 F8, 查表 2-4 得 F 的基本偏差为下极限偏差, 且  $EI = 20\mu\text{m}$

由式 (2-17) 得  $ES = EI + T_D$ ,  $ES = EI + IT8 = (20 + 33)\mu\text{m} = +53\mu\text{m}$ 。

由式 (2-5) 得  $X'_{\max} = ES - ei = [(+53) - (-21)]\mu\text{m} = 74\mu\text{m}$

$X'_{\min} = EI - es = [(+20) - 0]\mu\text{m} = 20\mu\text{m}$

绘制  $\phi 20F8/h7$  孔与轴尺寸公差带如图 2-16b 所示。


 图 2-16  $\phi 20H8/f7$  与  $\phi 20F8/h7$  尺寸公差带图

a)  $\phi 20H8/f7$  配合 b)  $\phi 20F8/h7$  配合

显然,  $\phi 20\text{H}8/\text{f}7$  与  $\phi 20\text{F}8/\text{h}7$  配合间隙相同, 即  $\phi 20\text{H}8/\text{f}7 = \phi 20\text{F}8/\text{h}7$ 。本例符合确定基本偏差的通用规则。

**例 2-7** 查表确定  $\phi 20\text{H}7/\text{k}6$  和  $\phi 20\text{K}7/\text{h}6$  两对孔、轴极限偏差及配合间隙或过盈, 绘制其尺寸公差带图, 并加以比较。

**解** 查表 2-3, 公称尺寸  $>18 \sim 30\text{mm}$  时,  $\text{IT}6 = 13\mu\text{m}$ ,  $\text{IT}7 = 21\mu\text{m}$ 。

1) 确定  $\phi 20\text{H}7/\text{k}6$  孔、轴极限偏差及配合间隙或过盈。

对于孔 H7,  $\text{EI} = 0$

由式 (2-17) 得  $\text{ES} = \text{EI} + T_D$ ,  $\text{ES} = \text{EI} + \text{IT}7 = (0 + 21)\mu\text{m} = +21\mu\text{m}$  (孔标注为  $\phi 20_{+0.021}^{+0.021}\text{mm}$ )。

对于轴 k6, 查表 2-5 得  $\text{ei} = +2\mu\text{m}$ 。

由式 (2-17) 得  $\text{es} = \text{ei} + T_d$ ,  $\text{es} = \text{ei} + \text{IT}6 = [(+2) + 13]\mu\text{m} = +15\mu\text{m}$  (轴标注为  $\phi 20_{+0.002}^{+0.015}\text{mm}$ )。

由式 (2-5) 得  $X_{\text{max}} = \text{ES} - \text{ei} = [(+21) - (+2)]\mu\text{m} = 19\mu\text{m}$ 。

由式 (2-8) 得  $Y_{\text{max}} = \text{EI} - \text{es} = [0 - (+15)]\mu\text{m} = -15\mu\text{m}$ 。

绘制  $\phi 20\text{H}7/\text{k}6$  孔与轴尺寸公差带如图 2-17a 所示。

2) 确定  $\phi 20\text{K}7/\text{h}6$  孔、轴极限偏差及配合间隙或过盈。

对于轴 h6,  $\text{es} = 0$

由式 (2-16) 得  $\text{ei} = \text{es} - T_d$ ,  $\text{ei} = \text{es} - \text{IT}6 = -13\mu\text{m}$  (轴标注为  $\phi 20_{-0.013}^{0}\text{mm}$ )。

对于孔 K7, 查表 2-4 得  $\text{ES} = -2 + \Delta$ , 且  $\Delta = \text{IT}7 - \text{IT}6 = (21 - 13)\mu\text{m} = 8\mu\text{m}$ 。

则  $\text{ES} = (-2 + 8)\mu\text{m} = +6\mu\text{m}$

由式 (2-16) 得  $\text{EI} = \text{ES} - T_D$ ,  $\text{EI} = \text{ES} - \text{IT}7 = [(+6) - 21]\mu\text{m} = -15\mu\text{m}$  (孔标注为  $\phi 20_{-0.015}^{+0.006}\text{mm}$ )

由式 (2-5) 和式 (2-6) 计算得

$$X'_{\text{max}} = \text{ES} - \text{ei} = [(+6) - (-13)]\mu\text{m} = 19\mu\text{m}$$

$$Y'_{\text{max}} = \text{EI} - \text{es} = [(-15) - 0]\mu\text{m} = -15\mu\text{m}$$

绘制  $\phi 20\text{K}7/\text{h}6$  孔与轴尺寸公差带如图 2-17b 所示。

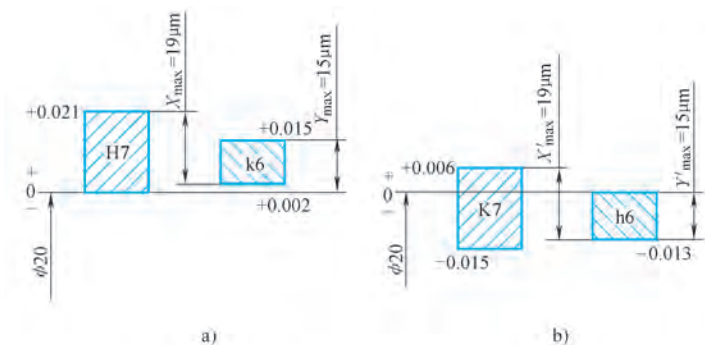


图 2-17  $\phi 20\text{H}7/\text{k}6$  与  $\phi 20\text{K}7/\text{h}6$  尺寸公差带图

a)  $\phi 20\text{H}7/\text{k}6$  配合 b)  $\phi 20\text{K}7/\text{h}6$  配合

显然,  $\phi 20\text{H}7/\text{k}6$  与  $\phi 20\text{K}7/\text{h}6$  配合间隙或过盈相同,  $\phi 20\text{H}7/\text{k}6 = \phi 20\text{K}7/\text{h}6$ 。这是因为

$\phi 20H7/k6$  与  $\phi 20K7/h6$  相配合的孔、轴的公差等级是按照轴的公差等级比孔的公差等级高一级的要求给出。本例符合确定基本偏差的特殊规则。

采用的基准制不同,但配合所形成的极限间隙或极限过盈相等,即可认为其配合性质相同。

**例 2-8** 查表确定  $\phi 20H7/k7$  与  $\phi 20K7/h7$  两对孔、轴极限偏差,并计算其配合间隙或过盈。

**解** 1) 确定  $\phi 20H7/k7$ 。

查附录 A 和附录 B 得,  $\phi 20H7$  的上、下极限偏差分别为  $ES=+21\mu\text{m}$ ,  $EI=0$  (孔标注为  $\phi 20_{+0.021}^{+0.021}\text{mm}$ )

$\phi 20k7$  的上、下极限偏差分别为  $es=+23\mu\text{m}$ ,  $ei=+2\mu\text{m}$  (轴标注为  $\phi 20_{+0.002}^{+0.023}\text{mm}$ )

由式 (2-5) 和式 (2-8) 计算  $\phi 20H7/k7$  配合最大间隙或过盈为

$$X_{\max}=ES-ei=[+21-(+2)]\mu\text{m}=+19\mu\text{m}$$

$$Y_{\max}=EI-es=[0-(+23)]\mu\text{m}=-23\mu\text{m}$$

2) 确定  $\phi 20K7/h7$ 。

查附录 A 和附录 B 得,  $\phi 20K7$  的上、下极限偏差分别为  $ES=+6\mu\text{m}$ ,  $EI=-15\mu\text{m}$  (孔标注为  $\phi 20_{-0.015}^{+0.006}\text{mm}$ )

$\phi 20h7$  的上、下极限偏差分别为  $es=0$ ,  $ei=-21\mu\text{m}$ , (轴标注为  $\phi 20_{-0.021}^0\text{mm}$ )

由式 (2-5) 和式 (2-8) 计算  $\phi 20K7/h7$  配合最大间隙或过盈为

$$X'_{\max}=ES-ei=[+6-(-21)]\mu\text{m}=+27\mu\text{m}$$

$$Y'_{\max}=EI-es=[-15-0]\mu\text{m}=-15\mu\text{m}$$

显然,  $\phi 20H7/k7$  与  $\phi 20K7/h7$  配合间隙或过盈并不相同, 即  $\phi 20H7/k7 \neq \phi 20K7/h7$ 。注意, 和例 2-7 相比较, 如果相配合的孔、轴的公差等级相同, 如  $\phi 20H7/k7$  和  $\phi 20K7/h7$ , 则孔、轴的标准公差不变 (本例  $IT7=21\mu\text{m}$ ), 但是由于轴的公差等级 (由  $IT6$  到  $IT7$ ) 降低, 即公差值增大了 ( $IT6=13\mu\text{m}$ ), 将使基孔制配合的最大过盈增大 ( $Y_{\max}=-23\mu\text{m}$ ,  $Y'_{\max}=-15\mu\text{m}$ ), 基轴制配合的最大间隙增大 ( $X_{\max}=+19\mu\text{m}$ ,  $X'_{\max}=+27\mu\text{m}$ ), 所以,  $\phi 20H7/k7 \neq \phi 20K7/h7$ 。也就是说, 由于  $\phi 20K7/h7$  的孔、轴公差等级关系不符合标准规定的孔的基本偏差由相应轴的基本偏差换算的条件, 因此, 它与相应的基孔制配合  $\phi 20H7/k7$  性质不同。

## 2.2.4 标准公差带与配合

根据国家标准规定的 20 个标准公差等级和孔、轴各 28 种基本偏差, 理论上, 孔和轴可以各自组成五百多种公差带, 如果将这么多的孔、轴公差带都列入标准, 将使得标准繁琐和复杂化, 因此, 国家标准规定了一系列标准公差带供选用。

这里仅介绍 GB/T 1801—2009 规定的公称尺寸  $\leq 500\text{mm}$  的孔、轴公差带与配合。

图 2-18 列出了公称尺寸至 500mm 孔的标准公差带。图 2-19 列出了公称尺寸至 500mm 轴的标准公差带。

虽然标准规定了标准公差带, 但仍然很多, 工程使用中还是相当麻烦, 必须进一步对其

选择加以限制,并选用适当的孔与轴公差带进行配合,因此推出了优先、常用、一般等公差带。

[illegible]

图 2-18 公称尺寸至 500mm 孔的标准公差带

[illegible]

图 2-19 公称尺寸至 500mm 轴的标准公差带

图 2-20 所示为公称尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 的推荐选用的孔公差带,共 105 种,其中,13 种有圆圈的公差带为优先选用,方框中的公差带为常用公差带,共 44 种。

图 2-21 所示为公称尺寸  $\leq 500\text{mm}$  推荐选用的轴公差带共 116 种，其中，13 种有圆圈的公差带为优先选用，方框中的公差带为常用公差带，共 59 种。

在此基础上,标准又规定了公称尺寸 $\leq 500\text{mm}$ 的基孔制常用、优先配合,基轴制常用、优先配合,分别见表 2-6 和表 2-7。

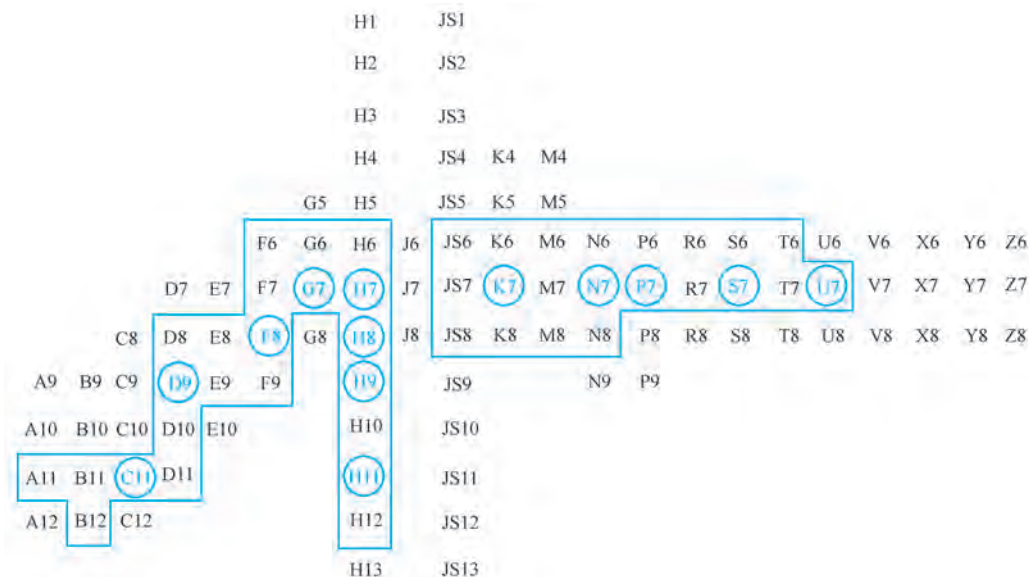


图 2-20 公称尺寸  $\leq 500\text{mm}$  推荐选用的孔公差带

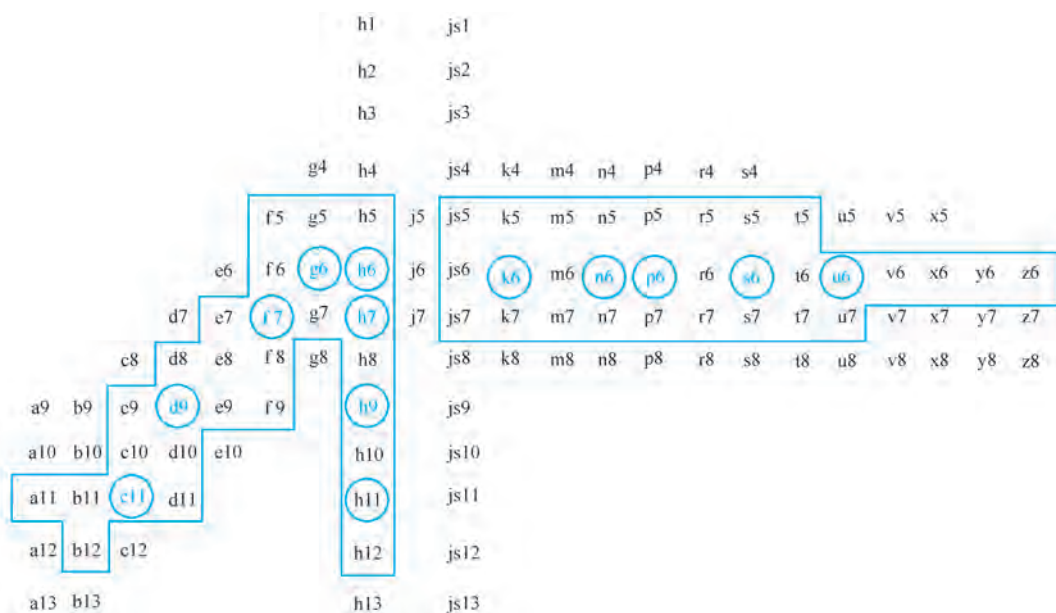


图 2-21 公称尺寸  $\leq 500\text{mm}$  推荐选用的轴公差带

选用公差带和配合时，应该按照优先、常用、一般的顺序选取。对于某些特殊要求，若一般公差带中没有满足要求的公差带，标准允许采用两种基准制以外的非基准制配合，如  $M8/f7$ 、 $G8/n7$  等。

表 2-6 基孔制优先、常用配合 (摘自 GB/T 1801—2009)

| 基 准 孔 | 轴          |            |            |            |          |          |          |            |           |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|-------|------------|------------|------------|------------|----------|----------|----------|------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|       | a          | b          | c          | d          | e        | f        | g        | h          | js        | k        | m        | n        | p        | r        | s        | t        | u        | v        | x        | y        | z        |
|       | 间 隙 配 合    |            |            |            |          |          |          |            | 过 渡 配 合   |          |          | 过 盈 配 合  |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| H6    |            |            |            |            |          | H6<br>f5 | H6<br>g5 | H6<br>h5   | H6<br>js5 | H6<br>k5 | H6<br>m5 | H6<br>n5 | H6<br>p5 | H6<br>r5 | H6<br>s5 | H6<br>t5 |          |          |          |          |          |
| H7    |            |            |            |            |          | H7<br>f6 | H7<br>g6 | H7<br>h6   | H7<br>js6 | H7<br>k6 | H7<br>m6 | H7<br>n6 | H7<br>p6 | H7<br>r6 | H7<br>s6 | H7<br>t6 | H7<br>u6 | H7<br>v6 | H7<br>x6 | H7<br>y6 | H7<br>z6 |
| H8    |            |            |            |            | H8<br>e7 | H8<br>f7 | H8<br>g7 | H8<br>h7   | H8<br>js7 | H8<br>k7 | H8<br>m7 | H8<br>n7 | H8<br>p7 | H8<br>r7 | H8<br>s7 | H8<br>t7 | H8<br>u7 |          |          |          |          |
|       |            |            |            | H8<br>d8   | H8<br>e8 | H8<br>f8 |          | H8<br>h8   |           |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| H9    |            |            | H9<br>c9   | H9<br>d9   | H9<br>e9 | H9<br>f9 |          | H9<br>h9   |           |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| H10   |            |            | H10<br>c10 | H10<br>d10 |          |          |          | H10<br>h10 |           |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| H11   | H11<br>a11 | H11<br>b11 | H11<br>c11 | H11<br>d11 |          |          |          | H11<br>h11 |           |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| H12   |            | H12<br>b12 |            |            |          |          |          | H12<br>h12 |           |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |

注：1.  $\frac{H6}{n5}$ 、 $\frac{H7}{p6}$  在公称尺寸  $\leq 3\text{mm}$  和  $\frac{H8}{r7}$  在公称尺寸  $\leq 100\text{mm}$  时，为过渡配合。

2. 用三角标示的配合为优先配合。

表 2-7 基轴制优先、常用配合 (摘自 GB/T 1801—2009)

| 基 准 轴 | 孔          |            |            |            |          |          |          |            |           |          |          |          |          |          |          |          |          |   |   |   |   |
|-------|------------|------------|------------|------------|----------|----------|----------|------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---|---|---|---|
|       | A          | B          | C          | D          | E        | F        | G        | H          | JS        | K        | M        | N        | P        | R        | S        | T        | U        | V | X | Y | Z |
|       | 间 隙 配 合    |            |            |            |          |          |          |            | 过 渡 配 合   |          |          | 过 盈 配 合  |          |          |          |          |          |   |   |   |   |
| h5    |            |            |            |            |          | F6<br>h5 | G6<br>h5 | H6<br>h5   | JS6<br>h5 | K6<br>h5 | M6<br>h5 | N6<br>h5 | P6<br>h5 | R6<br>h5 | S6<br>h5 | T6<br>h5 |          |   |   |   |   |
| h6    |            |            |            |            |          | F7<br>h6 | G7<br>h6 | H7<br>h6   | JS6<br>h6 | K7<br>h6 | M7<br>h6 | N7<br>h6 | P7<br>h6 | R7<br>h6 | S7<br>h6 | T7<br>h6 | U7<br>h6 |   |   |   |   |
| h7    |            |            |            |            | E8<br>h7 | F8<br>h7 |          | H8<br>h7   | JS8<br>h7 | K8<br>h7 | M8<br>h7 | N8<br>h7 |          |          |          |          |          |   |   |   |   |
| h8    |            |            |            | D8<br>h8   | E8<br>h8 | F8<br>h8 |          | H8<br>h8   |           |          |          |          |          |          |          |          |          |   |   |   |   |
| h9    |            |            |            | D9<br>h9   | E9<br>h9 | F9<br>h9 |          | H9<br>h9   |           |          |          |          |          |          |          |          |          |   |   |   |   |
| h10   |            |            |            | D10<br>h10 |          |          |          | H10<br>h10 |           |          |          |          |          |          |          |          |          |   |   |   |   |
| h11   | A11<br>h11 | B11<br>h11 | C11<br>h11 | D11<br>h11 |          |          |          | H11<br>h11 |           |          |          |          |          |          |          |          |          |   |   |   |   |
| h12   |            | B12<br>h12 |            |            |          |          |          | H12<br>h12 |           |          |          |          |          |          |          |          |          |   |   |   |   |

注：用三角标示的配合为优先配合。

## 2.3 未注公差标准简介

未注公差即一般公差，指图样上不单独注出公差、极限偏差或公差带代号，而是在图样上、技术要求中或标注时做出总体说明的公差要求。它是指在车间普通工艺条件下，机床设备的加工能力可以保证的公差。也可以说，在车间正常生产精度能够保证的条件下，它主要由工艺装备和制造者自行控制，如冲压件的未注公差由模具精度保证。

一般公差主要用于低精度的非配合尺寸。它可应用于线性尺寸和角度尺寸。这里主要介绍未注公差的线性尺寸公差的国家标准。

### 2.3.1 未注公差国家标准

GB/T 1804—2000 规定了线性尺寸（包括角度尺寸）的未注公差的公差等级和极限偏差数值。它适应于金属加工的尺寸，也适用于一般的冲压加工的尺寸，对于非金属材料和其他工艺方法加工的尺寸可参照采用。

一般公差等级分为精密 f、中等 m、粗糙 c、最粗 v 共四级，线性尺寸的极限偏差值见表 2-8，倒圆半径和倒角高度尺寸的极限偏差值见表 2-9。可以看出，一般公差的极限偏差一律呈对称分布。

表 2-8 线性尺寸的极限偏差值（摘自 GB/T 1804—2000）（单位：mm）

| 公差等级 | 公称尺寸分段     |            |           |            |           |           |            |            |
|------|------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|------------|
|      | 0.5~3      | >3~6       | >6~30     | >30~120    | >120~400  | >400~1000 | >1000~2000 | >2000~4000 |
| 精密 f | $\pm 0.05$ | $\pm 0.05$ | $\pm 0.1$ | $\pm 0.15$ | $\pm 0.2$ | $\pm 0.3$ | $\pm 0.5$  | —          |
| 中等 m | $\pm 0.1$  | $\pm 0.1$  | $\pm 0.2$ | $\pm 0.3$  | $\pm 0.5$ | $\pm 0.8$ | $\pm 1.2$  | $\pm 2$    |
| 粗糙 c | $\pm 0.2$  | $\pm 0.3$  | $\pm 0.5$ | $\pm 0.8$  | $\pm 1.2$ | $\pm 2$   | $\pm 3$    | $\pm 4$    |
| 最粗 v | —          | $\pm 0.5$  | $\pm 1$   | $\pm 1.5$  | $\pm 2.5$ | $\pm 4$   | $\pm 6$    | $\pm 8$    |

表 2-9 倒圆半径和倒角高度尺寸的极限偏差值（摘自 GB/T 1804—2000）

（单位：mm）

| 公差等级 | 公称尺寸分段    |           |         |         |
|------|-----------|-----------|---------|---------|
|      | 0.5~3     | >3~6      | >6~30   | >30     |
| 精密 f | $\pm 0.2$ | $\pm 0.5$ | $\pm 1$ | $\pm 2$ |
| 中等 m |           |           |         |         |
| 粗糙 c | $\pm 0.4$ | $\pm 1$   | $\pm 2$ | $\pm 4$ |
| 最粗 v |           |           |         |         |

### 2.3.2 未注公差的标注

采用未注公差的尺寸，在技术图样上只标注公称尺寸，不标注极限偏差。在图样或技术

文件中用国标号和公差等级代号并在两者之间用短画线隔开表示。

例如, 选用中等  $m$  等级时, 则表示为: GB/T 1804— $m$ 。这表明图样上凡是未注公差的尺寸均按照中等精度  $m$  加工和检验。

## 2.4 极限与配合的选用

正确地选择极限与配合, 不仅要深入地掌握国家标准, 同时要对产品的技术要求、使用要求、工作条件及生产条件进行全面的分析, 还要通过生产实践和经验积累, 才能逐步加强这方面的实际工作能力。

通常选用极限与配合的方法大致有如下三种:

(1) 计算法 通过理论计算确定极限间隙或过盈, 然后确定孔、轴的公差带。这种方法比较精确、科学, 但工程实际中有好多不确定的因素存在, 用这种方法比较麻烦。

(2) 类比法 参考工作条件和使用要求相似的、且经过实践证明的、工作状况良好的类似结合的极限与配合, 以确定需要的配合。这种方法目前使用最多, 要求设计、加工人员必须有较丰富的实践经验积累。

(3) 试验法 对于机器的工作性能影响较大且又很重要的配合, 用专门的试验方法确定最佳的极限与配合。这种方法比较可靠, 但成本高。

极限与配合的选用包括公差等级的选用、基准制的选用和配合的选用。

### 2.4.1 公差等级的选用

公差等级的高低直接影响产品使用性能和加工的经济性。公差等级精度过低, 不能满足机械产品的使用要求, 使产品质量得不到保证; 公差等级精度过高, 即要求尺寸精度越高, 加工成本就会增加, 特别是当公差等级高于 IT6 时, 制造成本便急剧增加。所以, 选用公差等级时, 要根据加工的工艺性、相关零部件或机构的特点, 在满足使用要求的前提下, 尽可能地选用精度较低的公差等级。

通常采用类比法确定公差等级, 应该考虑如下几个方面的问题。

(1) 工艺等价性 孔和轴加工的难易程度基本相同。在常用尺寸段  $D \leq 500\text{mm}$  且孔的公差等级精度要求较高时, 一般公差等级  $\leq \text{IT}8$  (如 IT7), 孔比轴难加工, 也就是说采用同一工艺方法加工时, 孔的加工误差会大于轴的加工误差。为了保证工艺等价原则, 国标推荐选取轴的公差等级比孔的公差等级高一级, 如配合 H8/f7, 孔为 IT8, 则轴为 IT7。当公差等级  $\text{IT} \geq \text{IT}9$  时 (如 IT10), 一般采用同级孔与轴配合, 如配合 H9/d9, 孔和轴均为 IT9。对于尺寸  $> 500\text{mm}$ , 一般采用同级孔与轴相配合。

(2) 相配零部件的配合精度要匹配 某些孔、轴的公差等级取决于相配件或相关件的精度, 如齿轮孔与传动轴的配合, 其传动轴的公差等级取决于齿轮的精度等级, 与滚动轴承配合的轴承座孔和轴的公差等级取决于滚动轴承的公差等级。

(3) 掌握各个公差等级的大致应用范围 表 2-10 为公差等级的应用范围。表 2-11 为各种加工方法可能达到的加工精度, 可供选用时参考。

表 2-10 公差等级的应用范围

| 用途    |      | 公差等级 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|       |      | IT01 | IT0 | IT1 | IT2 | IT3 | IT4 | IT5 | IT6 | IT7 | IT8 | IT9 | IT10 | IT11 | IT12 | IT13 | IT14 | IT15 | IT16 | IT17 | IT18 |
| 量块    |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 量规    | 高精度  |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|       | 低精度  |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 配合尺寸  | 特别精密 |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|       | 精密   |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|       | 中等   |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|       | 低精度  |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 非配合尺寸 |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 原材料尺寸 |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

表 2-11 各种加工方法可能达到的加工精度

| 加工方法    | 公 差 等 级 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|---------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
|         | IT01    | IT0 | IT1 | IT2 | IT3 | IT4 | IT5 | IT6 | IT7 | IT8 | IT9 | IT10 | IT11 | IT12 | IT13 | IT14 | IT15 | IT16 | IT17 | IT18 |  |
| 研磨      |         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 珩       |         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 圆磨、平磨   |         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 拉削      |         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 铰孔      |         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 车、镗     |         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 铣       |         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 刨、插     |         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 钻       |         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 滚压、挤压   |         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 冲压      |         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 压铸      |         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 粉末冶金成形  |         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 粉末冶金烧结  |         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 砂型铸造、气割 |         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 铸造      |         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |  |

公差等级应用说明如下：

IT01~IT1 用于量块的尺寸公差以及高精密测量工具的尺寸公差。

IT1~IT7 用于量规的尺寸公差，这些量规常用于检验 IT6~IT16 的孔和轴。

IT2~IT4 用于特别精密的重要部位的配合，例如高精度机床主轴和 4 级滚动轴承的配合、高精度齿轮基准孔或基准轴，精密仪器中特别精密的配合部位。

IT5~IT7 用于精密配合处，在机械制造中应用较广。其中 IT5 的轴和 IT6 的孔用于机床、

发动机等机械的关键部位,如机床主轴和6级滚动轴承相配的主轴颈以及箱体孔。IT6的轴和IT7的孔应用更广泛,国标推荐的常用公差带也较多,常用于普通机床、动力机械、机床夹具等的重要配合部位,传动轴和轴承,内燃机曲轴主轴颈和轴承,传动齿轮和轴的配合;机床夹具中的普通精度镗套以及钻膜套的内、外径配合处;与普通精度滚动轴承相配的轴和外壳孔。

IT7~IT8用于中等精度的配合部位,如通用机械的滑动轴承与轴颈的配合处,一般速度的V带轮、联轴器和轴颈的配合,也用于农业机械、纺织机械、重型机械等较重要的配合部位。

IT9~IT10用于一般要求的配合或精度要求较高的槽宽的配合。

IT12~IT18用于非配合尺寸。

## 2.4.2 基准制的选用

基准制的选用主要从零件结构性、加工工艺性以及经济性几方面考虑。

### 1. 优先选用基孔制配合

这主要从工艺和宏观经济效益来考虑。因为一般的孔采用钻头、铰刀等定值刀具加工,每一把刀具只能加工某一尺寸的孔,而用同一把车刀可以加工不同尺寸的轴。因此,改变轴的极限尺寸在工艺上所产生的困难和增加的生产费用与改变孔的极限尺寸相比要小得多。因此,采用基孔制配合,可以减少定值刀具(钻头、铰刀、拉刀)和定值量具(如塞规)的规格和数量,提高经济效益。

### 2. 选用基轴制配合的情况

1) 采用不经过切削加工的冷拉钢材做轴,选用基轴制配合可避免冷拉钢材的尺寸规格过多,节省冷拉模具的制造费用。如农业机械和纺织机械中,常使用具有一定精度(IT9~IT11)的冷拉钢材,不需切削加工直接作为轴与其他零件配合。

2) 公称尺寸 $\leq 3\text{mm}$ 的小尺寸的孔与轴,由于轴的加工比孔的加工困难,采用基轴制。

3) 因结构上的原因,在同一公称尺寸的轴上要求与几个孔相配合并形成几种不同的配合,则考虑采用基轴制配合。如图2-22a所示活塞销轴与活塞及连杆的配合,根据使用要求,活塞1和活塞销轴2之间应为过渡配合,活塞销轴与连杆3之间应为间隙配合。如果采用基轴制配合,活塞销轴可制成一根光轴,既便于生产,又便于装配,如图2-22b所示。如果采用基孔制配合,三个孔的公差带一样,活塞销轴就要制成中间小的阶梯形状,如图2-22c所示。

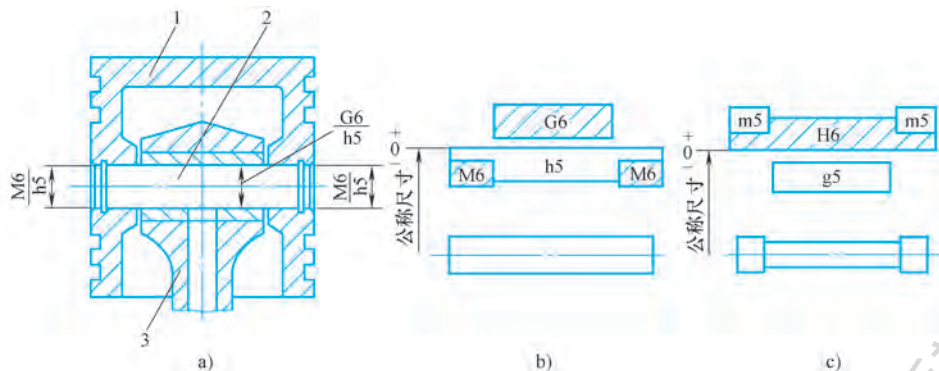


图 2-22 活塞连杆间的配合

a) 配合示意图 b) 基孔制 c) 基轴制

1—活塞 2—活塞销轴 3—连杆

示,这样做既不便于加工,又不利于装配。另外,活塞销轴两端直径大于活塞孔径,装配时会刮伤轴和孔的表面,会影响配合质量。

### 3. 根据标准件选配合制

若与标准零部件配合时,应以标准零部件为基准件,确定采用基孔制还是基轴制配合。例如,滚动轴承内圈与轴的配合应采用基孔制配合,滚动轴承外圈与外壳孔的配合应采用基轴制配合。

### 4. 特殊情况下选配合制

为满足配合的特殊要求,允许采用任一孔、轴公差带组成配合。例如,图 2-23 中,轴承外圈与轴承座孔之间的配合为基轴制,孔公差带为 J7,而为了拆卸方便,轴承盖与轴承座孔之间的配合采用间隙配合,因此,选用配合为  $\phi 32J7/f9$ ,属于任意孔、轴公差带组成的配合。

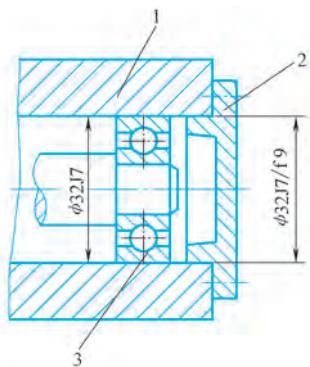


图 2-23 任意配合公差带

1—轴承座 2—轴承盖

3—轴承

## 2.4.3 配合的选用

配合的选用包括确定配合类别及确定孔或轴的基本偏差代号。

### 1. 配合类别的选用

国家标准规定有间隙配合、过渡配合和过盈配合三类配合。在机械设计中选用哪类配合,主要决定于使用要求。通常机械产品对配合的使用要求有三个方面:

- 1) 靠配合面维持孔、轴之间的相对运动(相对转动或移动)。
- 2) 靠配合面确定孔与轴零部件之间的相互位置。
- 3) 靠配合面传递转矩或其他载荷。

当孔、轴间有相对运动要求时,一般应选间隙配合。无相对运动要求时,应根据具体工作条件不同来选取。若要求孔、轴配合后传递足够大的转矩,且又不要求拆卸,一般选过盈配合;当需要孔、轴配合后传递一定的转矩,但又要求能够拆卸,应选过渡配合;有些场合,对孔、轴装配后的同轴度要求不高,只是为了装配方便,应选间隙较大的间隙配合。

配合类别的选取见表 2-12。

表 2-12 配合类别的选取

| 无相对运动 | 传递转矩  | 要精确定位  | 永久结合           | 过盈配合                  |
|-------|-------|--------|----------------|-----------------------|
|       |       |        | 可拆结合           | 过渡配合或 H/h 间隙配合加紧固件    |
|       |       | 不要精确定位 |                | 间隙配合加紧固件              |
|       | 不传递转矩 | 要精确定位  | 过渡配合或小过盈量的过盈配合 |                       |
| 有相对运动 |       |        |                | 间隙配合(要精确定位选 H/h 间隙配合) |

注:紧固件指螺钉、销钉和键等。

### 2. 基本偏差代号的选用

(1) 间隙配合基本偏差代号的选用 间隙配合基本偏差代号在 A~H (a~h) 中选用,主要用于孔、轴间有相对运动的场合。确定间隙配合基本偏差代号时,应考虑运动特性、运

动条件、运动精度及工作温度等。相对运动速度高,选用间隙较大的配合;相对运动速度较低或有较高的定位要求,选用间隙较小的配合。如图 2-24 所示,固定钻套 1 的内孔用来引导钻头,有一定的定位要求,内孔选用 F7。而钻套外径与钻模板孔之间的配合,具有较高的定位精度要求,固定钻套是薄壁零件要经常更换,故选用过盈配合 H7/n6。

(2) 过盈配合基本偏差代号的选用 过盈配合基本偏差代号一般在 P~ZC ( $p \sim zc$ ) 中选用,主要应用于无相对运动的、不可拆卸的连接场合,用来传递转矩或载荷。

确定过盈配合基本偏差代号时,应考虑负荷大小、负荷特性、材料的许用应力及装配条件等。最小过盈应保证传递足够的转矩或载荷,最大过盈应使零件内应力不超过材料的许用应力,故过盈的变化范围不能太大,需要选用较高的公差等级,一般为 IT5~IT7。承受重载荷或冲击载荷的固定连接,应选用过盈量较大的配合;既要传递一定的转矩或载荷且要求可拆卸,应选用过盈量小的过盈配合。

例如,图 2-25 中的蜗轮缘与轮毂的配合,图 2-25a 选用过盈较大的配合 H7/s6,靠足够的过盈量来传递转矩;图 2-25b 选用配合 H7/r6 保证传递转矩的可靠性,在结合处加螺钉紧固。

(3) 过渡配合基本偏差代号的选用 过渡配合基本偏差代号一般在 J~N ( $j \sim n$ ) 中选用,主要应用于既要精确定位,又要求拆卸方便的不动连接的场合。对于定心要求高、拆卸次数少、承受载荷大、冲击和振动大的场合,应选用较紧的配合,否则就选用较松的配合。在过渡配合中,最大间隙和最大过盈的绝对值都比较小,因此,组成配合的孔、轴公差等级都较高,一般为 IT4~IT7。如图 2-26 所示的齿轮内孔与轴的配合,考虑轴的加工及结构工艺性,此处选配合为 H7/k6。

选用配合时应尽量采用 GB/T 1801—2009 中规定的标准公差带与配合,依次由优先、常

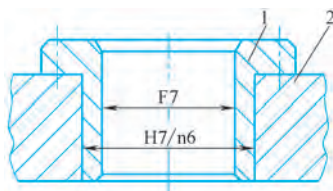


图 2-24 固定钻套配合图例

1—固定钻套 2—钻模板

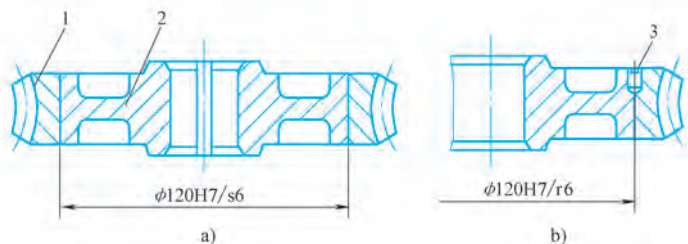


图 2-25 蜗轮缘与轮毂的配合图例

1—蜗轮缘 2—轮毂 3—紧固螺钉

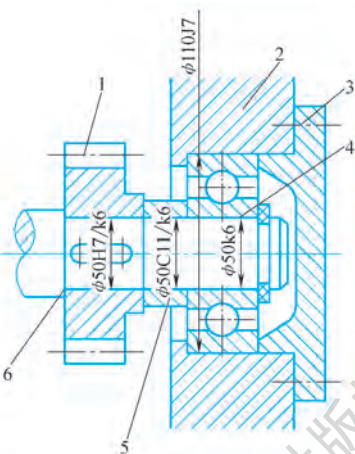


图 2-26 齿轮内孔与轴的配合图例

1—齿轮 2—轴承座 3—端盖  
4—轴承 5—挡环 6—轴

用、一般公差带中,选择适当的配合。选用时要仔细分析零件的结构特点、工作条件和使用要求等具体情况,对照各类配合的特性和应用,做出合理的选择。如同样是齿轮孔与轴的配合,如果是滑动齿轮,只能选用间隙配合;如果是固定齿轮,靠键等紧固件传递转矩,一般选用小间隙量的间隙配合或过渡配合;如果没有紧固件,而需要传递转矩,则要选用过盈配合。

在实际工作中常采用类比法选用配合公差带。表 2-13、表 2-14 分别列出基孔制轴的基本偏差选用情况、公称尺寸至 500mm 的优先和常用配合的选用情况。

表 2-13 基孔制轴的基本偏差选用

| 配合   | 基本偏差 | 特 性 及 应 用 说 明                                                                                                      |
|------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 间隙配合 | a, b | 配合间隙很大,应用较少                                                                                                        |
|      | c, d | 用于工作条件较差,受力变形,或为了便于装配;可以得到很大的配合间隙,一般用于松的动配合。也适于大直径滑动轴承配合及其他重型机械中的一些滑动支承配合。也用于热动间隙配合                                |
|      | e    | 适用于要求有明显间隙,易于转动的支承配合,如大跨距、多点支承、重载等的配合。多用于 IT7~IT9                                                                  |
|      | f    | 适用于一般转动配合,广泛应用于普通润滑油(或润滑脂)润滑的支承,如齿轮箱、小电动机、泵等的转轴与支承的配合。多用于 IT6~IT8                                                  |
|      | g    | 适用于不回转的精密滑动轴承、定位销等定位配合,配合间隙小,制造成本较高,除很轻负荷的精密装置外一般不推荐于转动配合。多用于 IT5~IT7                                              |
|      | h    | 广泛用于无相对转动的零件,作为一般的定位配合,若没有温度、变形等的影响,也用于精密滑动配合。如车床尾座套筒与尾座体间的配合。多用于 IT4~IT11                                         |
| 过渡配合 | js   | 偏差对称分布,平均间隙小,多用于要求间隙较小并允许略有过盈的精密零件的定位配合,一般可用手击或木锤装配。例如滚动轴承内、外圈的配合。多用于 IT4~IT7                                      |
|      | k    | 平均间隙接近于零,推荐用于稍有过盈的定位配合,一般可用木锤装配。例如滚动轴承内、外圈的配合。多用于 IT4~IT7                                                          |
|      | m    | 平均过盈较小,适用于不允许游动的精密定位配合,组成的配合定位好。例如不允许窜动的轴承内、外圈的配合。一般可用木锤装配。多用于 IT4~IT7                                             |
| 过盈配合 | n    | 平均过盈比 $m$ 稍大,很少得到间隙,用于定位要求较高且不常拆卸的配合。一般可用锤或压力机装配。多用于 IT4~IT7                                                       |
|      | p    | 用于小过盈配合。与 H6 或 H7 组成过盈配合,而与 H8 组成过渡配合。对非钢铁类零件,为较轻的压入配合,对钢、铁、铜-钢组件类装配是标准压入配合。多用于 IT5~IT7                            |
|      | r    | 用于传递大转矩或受冲击载荷需要加键联结的配合。对钢铁类零件为中等打入配合,对非钢铁类零件为轻打入配合。如蜗轮与轴的配合。多用于 IT5~IT7<br>注意 H8/r8 配合在公称尺寸 $<100\text{mm}$ 时为过渡配合 |
|      | s    | 用于钢铁类零件的永久性或非永久性装配,可产生大的结合力,用压力机或热胀法装配。如曲柄销与曲轴的配合。多用于 IT5~IT7                                                      |
|      | t    | 用于钢铁类零件永久性结合,不用键就能传递转矩,用热套法或冷轴法装配。如联轴器与轴配合采用 H7/t6                                                                 |
|      | u    | 用于过盈量大的配合,需验算最大过盈量,用热套法装配。如火车车轮轮毂孔与轴的配合采用 H6/u5                                                                    |
|      | v~z  | 过盈量依次增大,除 $u$ 外,一般不推荐采用                                                                                            |

表 2-14 优先和常用配合的选用 (尺寸 $\leq 500\text{mm}$ )

| 配合类别 | 配合代号                         |                              | 选用情况说明                                                         |
|------|------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------------|
|      | 基孔制                          | 基轴制                          |                                                                |
| 间隙配合 | H11/c11, H11/d11             | C11/h11, D11/h11             | 间隙很大,用于很松的、转速很慢的动配合,要求大公差、大间隙的外露组件,要求装配方便的很松配合                 |
|      | H9/c9, H9/d9                 | C9/h9, D9/h9                 | 间隙很大的自由转动配合,用于有大的温度变化,高转速或有大的轴颈压力                              |
|      | H8/f7, H8/f8                 | F8/h7, F8/h8                 | 间隙不大的转动配合,用于一般转速的配合,也用于装配较易的中等定位配合                             |
|      | H7/g6                        | G7/h6                        | 间隙很小的滑动配合,用于能自由移动或缓慢转动的精密配合部位                                  |
|      | H7/h6, H8/h7, H9/h9, H11/h11 | H7/h6, H8/h7, H9/h9, H11/h11 | 最小间隙为零,最大间隙由孔和轴的公差决定。多用于间隙定位配合,零件可以自由装拆,而工作时一般相对静止不动,也用于精密滑动配合 |
| 过渡配合 | H7/k6                        | K7/h6                        | 用于精密定位的过渡配合。加紧固件可以传递一定的载荷                                      |
|      | H7/m6                        | M7/h6                        | 用于定位精度较高允许有一定过盈的过渡配合。加键可传递较大的载荷。可用铜锤敲入或小压力压入                   |
| 过盈配合 | H7/n6, H7/p6, H7/r6          | N7/h6, P7/h6, R7/h6          | 用于较精确定位的小过盈配合,一般不能靠过盈传递转矩,要传递转矩需要加紧固件                          |
|      | H7/s6                        | S7/h6                        | 配合后不需要加紧固件就能传递小转矩和轴向力,加紧固件就能承受较大载荷或动载荷的配合                      |
|      | H7/u6                        | U7/h6                        | 不加紧固件就能传递和承受较大的转矩及动载荷的配合。要求零件材料有高强度                            |
|      | H7/x6, H7/z6                 | T6/h5                        | 能够传递和承受很大转矩及动载荷的配合,需要经过试验后方可应用                                 |

**例 2-9** 有一组一般用途的孔与轴要组成转动副,其公称尺寸为  $\phi 52\text{mm}$ ,要求它们配合后转动灵活,间隙在  $+30 \sim +80\mu\text{m}$ 。试确定这组孔与轴的公差等级及配合种类。

**解** (1) 选择基准制 因为这组孔、轴为一般用途,没有特殊要求,故选用基孔制  $EI=0$ 。

(2) 选择孔与轴的公差等级 由于  $T_f = T_D + T_d = X_{\max} - X_{\min} = (80 - 30)\mu\text{m} = 50\mu\text{m}$  从满足使用要求出发,应该满足  $T_D + T_d \leq T_f$ 。

查标准公差数值表 2-3 可知,公称尺寸为  $\phi 52\text{mm}$ ,  $IT6 = 19\mu\text{m}$ ,  $IT7 = 30\mu\text{m}$ 。

下面分三种情况讨论:

1) 若孔、轴的公差等级都选  $IT7$  级,则配合公差  $T_f = 2 \times IT7 = 60\mu\text{m} > [T_f] = 50\mu\text{m}$ ,不符合要求。

2) 若孔、轴的公差等级都选  $IT6$  级,则配合公差  $T_f = 2 \times IT6 = 38\mu\text{m} < [T_f] = 50\mu\text{m}$ ,虽符合要求,但不符合选择公差等级的工艺等价性原则,即高精度配合时,轴比孔的精度要求高一级的原则。

3) 若孔的公差等级选  $IT7$  级,遵循工艺等价性原则,轴的公差等级选  $IT6$  级,则配合公差  $T_f = IT7 + IT6 = (30 + 19)\mu\text{m} = 49\mu\text{m} < [T_f] = 50\mu\text{m}$ ,可以满足使用要求,而且  $T_f$  计算值接近允许值,故这对孔与轴的精度等级应按照 3) 选择。

(3) 确定配合基本偏差代号 由题给最小间隙  $X_{\min} = +30\mu\text{m}$  来确定轴的基本偏差代号。

因为  $X_{\min} = EI - es = 0 - es = 30\mu\text{m}$ , 即  $es = -30\mu\text{m}$ , 查表 2-5 得, 基本偏差 f 的上极限偏差  $es = -30\mu\text{m}$ , 故取轴的基本偏差为 f。

已选择基孔制, 所以, 该孔与轴的公差带分别是 H7 和 f6。配合代号为  $\phi 52\text{H}7/\text{f}6$ 。

最大间隙  $X_{\max} = +79\mu\text{m}$ , 最小间隙  $X_{\min} = +30\mu\text{m}$ 。

其孔的尺寸为  $\phi 52\text{H}7 \left( \begin{smallmatrix} +0.030 \\ 0 \end{smallmatrix} \right)$ , 轴的尺寸为  $\phi 52\text{f}6 \left( \begin{smallmatrix} -0.030 \\ -0.049 \end{smallmatrix} \right)$ 。

**例 2-10** 已知一对孔与轴的公称尺寸为  $\phi 200\text{mm}$ , 根据使用要求, 允许其装配后的最大与最小过盈分别为  $Y_{\max} = -160\mu\text{m}$ ,  $Y_{\min} = -25\mu\text{m}$ 。试确定这组孔、轴的公差等级。

**解** (1) 计算孔、轴的允许配合公差  $T_f$  根据式 (2-13)

$$T_f = T_D + T_d = |Y_{\max} - Y_{\min}| = 135\mu\text{m}$$

(2) 计算、查表确定孔、轴的公差等级 根据使用要求, 应满足

$$T_D + T_d \leq T_f$$

查表 2-3 得, 公称尺寸为  $\phi 200\text{mm}$  时,  $\text{IT}7 = 46\mu\text{m}$ ,  $\text{IT}8 = 72\mu\text{m}$ 。

下面分三种情况讨论:

1) 若孔、轴的公差等级都选 IT8 级, 则配合公差  $T_f = 2 \times \text{IT}8 = 144\mu\text{m} > [T_f] = 135\mu\text{m}$ , 不符合要求。

2) 若孔、轴的公差等级都选 IT7 级, 则配合公差  $T_f = 2 \times \text{IT}7 = 92\mu\text{m} < [T_f] = 135\mu\text{m}$ , 虽符合要求, 但不符合工艺等价性原则, 即高精度配合时, 轴比孔的精度要求高一级的原则。

3) 若孔的公差等级选 IT8 级, 遵循工艺等价性原则, 轴的公差等级选 IT7 级, 则配合公差  $T_f = \text{IT}8 + \text{IT}7 = (72 + 46)\mu\text{m} = 118\mu\text{m} < [T_f] = 135\mu\text{m}$ , 可以满足使用要求, 而且  $T_f$  计算值比较接近允许值, 故这对孔与轴的精度等级应按照 3) 选择。

### 思考题与习题

2.1 什么是基孔制配合与基轴制配合? 规定基准制有何意义? 什么情况下应采用基轴制配合?

2.2 请思考下列几种说法是否正确?

(1) 公差通常为正值, 但有时也可以为零或负值。

(2) 公差是零件尺寸允许的最大偏差。

(3) 配合公差总是大于孔或轴的尺寸公差。

2.3 根据已经提供的数据, 填写下表空白处。

| 零件图样的要求 |             |                  |                          |                        |                                                                  | 测量结果        |                         | 结论   |
|---------|-------------|------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------|------|
| 序号      | 公称尺寸<br>/mm | 极限尺寸<br>/mm      | 极限偏差<br>/ $\mu\text{m}$  | 公差值<br>/ $\mu\text{m}$ | 尺寸标注<br>/mm                                                      | 实际尺寸<br>/mm | 实际偏差<br>/ $\mu\text{m}$ | 是否合格 |
| 1       | 轴 $\phi 30$ |                  | $es = -20$<br>$ei = -33$ |                        |                                                                  | 29.975      |                         |      |
| 2       | 轴 $\phi 40$ |                  | $es =$<br>$ei =$         |                        | $\phi 40 \begin{smallmatrix} -0.009 \\ -0.034 \end{smallmatrix}$ |             | 0                       |      |
| 3       | 轴 $\phi 50$ | 50.015<br>49.990 | $es =$<br>$ei =$         |                        |                                                                  |             | -10                     |      |
| 4       | 孔 $\phi 60$ |                  | $ES =$<br>$EI = 0$       | 60                     |                                                                  | 60.020      |                         |      |

(续)

| 零 件 图 样 的 要 求 |             |                  |                  |            |             | 测量结果        |             | 结论   |
|---------------|-------------|------------------|------------------|------------|-------------|-------------|-------------|------|
| 序号            | 公称尺寸<br>/mm | 极限尺寸<br>/mm      | 极限偏差<br>/μm      | 公差值<br>/μm | 尺寸标注<br>/mm | 实际尺寸<br>/mm | 实际偏差<br>/μm | 是否合格 |
| 5             | 孔 φ70       | 70.015<br>69.985 | ES =<br>EI =     |            |             |             | 10          |      |
| 6             | 孔 φ90       |                  | ES =<br>EI = +36 | 35         |             |             | 72          |      |

2.4 根据已知条件,求孔、轴极限偏差与配合公差,并画出尺寸公差带图。

(1) 孔与轴的公称尺寸为  $\phi 45\text{mm}$ ,  $es=0$ ,  $T_D=25\mu\text{m}$ ,  $Y_{\max}=-50\mu\text{m}$ ,  $Y_{\min}=-29.5\mu\text{m}$

(2) 孔与轴的公称尺寸为  $\phi 25\text{mm}$ ,  $EI=0$ ,  $T_d=13\mu\text{m}$ ,  $X_{\max}=+74\mu\text{m}$ ,  $X_{\min}=+40\mu\text{m}$

2.5 确定下列各孔、轴的极限偏差,画出公差带图,说明属于哪类配合及基准制?

(1)  $\phi 30\text{H}8/\text{g}7$  (2)  $\phi 60\text{H}6/\text{p}5$  (3)  $\phi 90\text{H}7/\text{js}6$

(4)  $\phi 50\text{M}8/\text{h}8$  (5)  $\phi 70\text{G}8/\text{h}7$  (6)  $\phi 100\text{R}8/\text{h}7$

2.6 查表确定下列各组孔与轴的要求项目并填入表中。

| 序号 | 给定数值<br>/mm         | 要求确定项目                |                    |      |
|----|---------------------|-----------------------|--------------------|------|
|    |                     | 极限偏差数值/ $\mu\text{m}$ | 公差值/ $\mu\text{m}$ | 尺寸标注 |
| 1  | $\phi 30\text{F}8$  |                       |                    |      |
|    | $\phi 30\text{f}8$  |                       |                    |      |
| 2  | $\phi 40\text{JS}6$ |                       |                    |      |
|    | $\phi 40\text{js}6$ |                       |                    |      |
| 3  | $\phi 80\text{p}7$  |                       |                    |      |
|    | $\phi 80\text{P}7$  |                       |                    |      |
| 4  | $\phi 200\text{e}9$ |                       |                    |      |
|    | $\phi 200\text{E}9$ |                       |                    |      |

2.7 有一对孔与轴的公称尺寸为  $\phi 50\text{mm}$ ,要求其配合间隙在  $+45\sim+115\mu\text{m}$ ,试确定孔与轴的配合代号,并画出尺寸公差带图。

2.8 某孔与轴的公称尺寸为  $\phi 38\text{mm}$ ,已知孔的公差带为  $\text{H}7$ ,要求与轴配合过盈为  $-10\mu\text{m}\sim-55\mu\text{m}$ ,试确定轴的公差等级和选用适当的公差带代号。

2.9 图 2-27 是一钻床夹具简图。已知 (1) 配合尺寸  $a$  和  $d$  的结合面处分别都有定心要求,需要过盈量不大的固定连接; (2) 配合尺寸  $b$  的结合面处有定心要求,安装和取出夹具时需要轴向移动; (3) 配合尺寸  $c$  的结合面处有导向要求,钻头能够在转动状态下伸入钻套。试选择以上各配合面的配合代号。

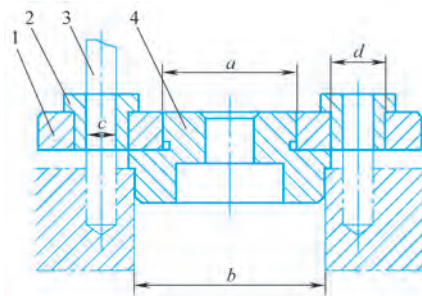


图 2-27 习题 2.9 图

1—钻模底板 2—定位套 3—钻头 4—钻套

# 第3章

## CHAPTER 3

# 几何公差及其检测

## 3.1 概述

图样上给出的零件是没有误差的理想几何体。零件在加工过程中,由于机床、夹具、刀具和工件所组成的工艺系统本身存在各种误差,以及加工过程中出现受力变形、振动、磨损等各种干扰,使加工后零件的实际形状和相互位置,与理想几何体规定的形状以及线、面相互位置存在差异,这种形状上的差异就是形状误差,相互位置之间的差异就是位置误差,它们统称为几何误差。

零件的几何误差对其使用性能会产生影响。

1) 影响零件的功能要求。例如,机床导轨表面的直线度、平面度不高,会影响机床刀架的运动精度。齿轮箱上各轴承孔的位置误差,会影响齿轮传动的齿面接触精度和齿侧间隙。

2) 影响零件的配合性质。例如,对于圆柱结合的间隙配合,圆柱表面的形状误差会使间隙大小分布不均,当配合件发生相对转动时,磨损加快,降低零件的工作寿命和运动精度。

3) 影响零件的自由装配性。例如,轴承盖上各螺钉孔的位置不正确,就有可能影响其自由装配。

要制造完全没有几何误差的零件,几乎是不可能的。因此,在设计零件时,为了减少或消除这些不利影响,需对零件的几何误差予以合理的限制。给出一个经济、合理的公差许可变动范围,即对零件的几何要素规定必要的几何公差。

几何公差标准是重要的基础标准之一。我国参照国际标准,重新修订并已颁布实施的有关《几何公差》国家标准如下:

GB/T 1182—2008《产品几何技术规范(GPS) 几何公差 形状、方向、位置和跳动公差标注》。

GB/T 1184—1996《形状和位置公差未注公差值》。

GB/T 4249—2009《产品几何技术规范(GPS) 公差原则》。

GB/T 16671—2009《产品几何技术规范(GPS) 几何公差 最大实体要求、最小实体

要求和可逆要求》。

GB/T 1958—2017《产品几何量技术规范（GPS） 形状和位置公差检测规定》。

### 3.1.1 几何公差的研究对象

几何公差研究的对象是几何要素。任何机械零件都是由点、线、面组合而成的，把构成零件特征的点、线或面统称为几何要素，简称要素。

图 3-1 所示的零件是由多种要素组成的。要素可以从不同的角度分类。

(1) 按存在状态分 为实际要素和理想要素。

1) 实际要素。零件在加工后实际存在的要素称为实际要素。通常用测量得到的要素来代替实际要素。

2) 理想要素。具有几何学意义的要素称为理想要素，它们不存在任何误差。图样上表示的要素均为理想要素。

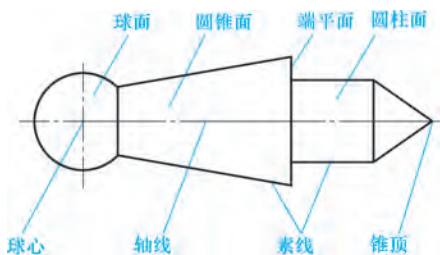


图 3-1 零件的几何要素

(2) 按结构特征分 为轮廓要素和中心要素。

1) 轮廓要素。构成零件外形的点、线、面各要素称为轮廓要素。如图 3-1 中的球面、圆锥面、圆柱面、端平面以及圆柱面和圆锥面的素线。

2) 中心要素。指零件上球面的中心点，圆柱面、圆锥面的轴线，槽面的中心平面等称为中心要素。中心要素是看不见、摸不着的，它总是由相应的轮廓要素来体现的，如图 3-1 中的球心、轴线等。

(3) 按要素在几何公差中所处的地位分 为被测要素和基准要素。

1) 被测要素。图样上给出了几何公差要求的要素称为被测要素，是需要检测的要素。

2) 基准要素。用来确定被测要素的方向或（和）位置的要素称为基准要素。

(4) 按被测要素的功能关系分 为单一要素和关联要素。

1) 单一要素。在图样上仅对其本身给出形状公差要求的要素称为单一要素。此要素对其他要素无功能关系。

2) 关联要素。对其他要素有功能关系的要素，即规定方向、位置、跳动公差的要素称为关联要素。

### 3.1.2 几何公差项目和符号

#### 1. 特征项目及符号

根据国家标准 GB/T 1182—2008 的规定，几何公差的几何特征和符号见表 3-1。

表 3-1 几何公差的几何特征和符号（摘自 GB/T 1182—2008）

| 公差类型 | 几何特征 | 符号 | 有无基准 | 公差类型 | 几何特征 | 符号 | 有无基准 |
|------|------|----|------|------|------|----|------|
| 形状公差 | 直线度  |    | 无    | 形状公差 | 圆柱度  |    | 无    |
|      | 平面度  |    | 无    |      | 线轮廓度 |    | 无    |
|      | 圆度   |    | 无    |      | 面轮廓度 |    | 无    |

(续)

| 公差类型 | 几何特征       | 符号 | 有无基准 | 公差类型 | 几何特征      | 符号 | 有无基准 |
|------|------------|----|------|------|-----------|----|------|
| 方向公差 | 平行度        |    | 有    | 位置公差 | 同轴度(用于轴线) |    | 有    |
|      | 垂直度        |    | 有    |      | 对称度       |    | 有    |
|      | 倾斜度        |    | 有    |      | 线轮廓度      |    | 有    |
|      | 线轮廓度       |    | 有    |      | 面轮廓度      |    | 有    |
|      | 面轮廓度       |    | 有    |      | 圆跳动       |    | 有    |
| 位置公差 | 位置度        |    | 有或无  | 跳动公差 | 全跳动       |    | 有    |
|      | 同心度(用于中心点) |    | 有    |      |           |    |      |

## 2. 几何公差带

几何公差带是用来限制被测实际要素变动的区域。这个区域是一个几何图形，它可以是平面区域或空间区域。只要被测实际要素能全部落在给定的公差带内，就表明该被测实际要素合格。

几何公差带控制点、线、面等区域，具有形状、大小、方向和位置四个特征要素。这四个要素会在图样标注中体现出来。

(1) 形状 几何公差带的形状由被测要素的理想形状和给定的公差特征项目确定如直线度公差带的形状为两平行直线，圆度公差带形状为两同心圆。常见的几何公差带形状如图 3-2 所示。

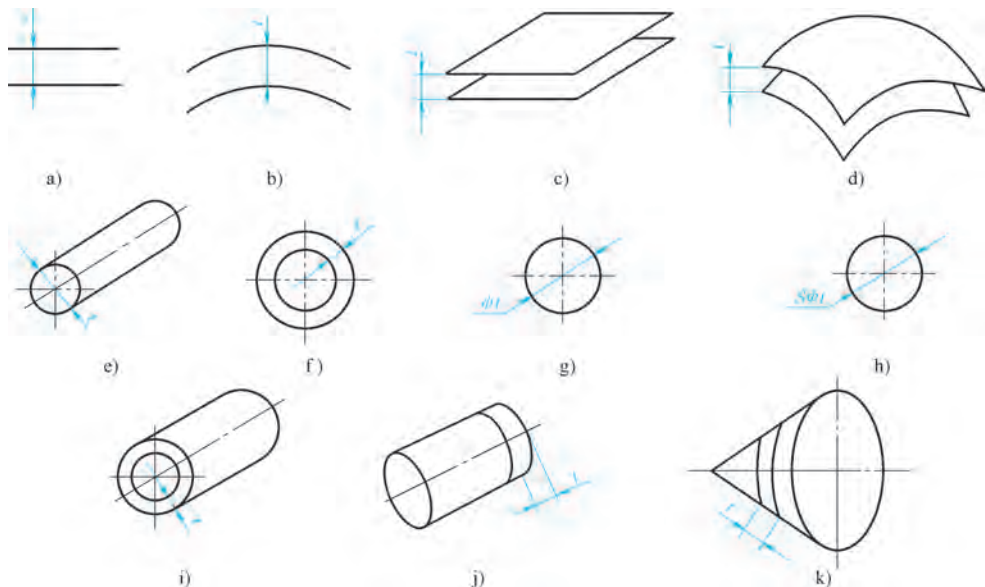


图 3-2 几何公差带的形状

- a) 两平行直线 b) 两等距曲线 c) 两平行平面 d) 两等距曲面 e) 圆柱面 f) 两同心圆  
g) 一个圆 h) 一个球 i) 两同轴圆柱面 j) 一段圆柱面 k) 一段圆锥面

(2) 大小 几何公差带的大小由设计给定的公差值确定, 以公差带区域的宽度 (距离)  $t$  或直径  $\phi t$  ( $s\phi t$ ) 表示。如果公差带形状是圆形或圆柱形的, 则在公差值前加注  $\phi$ ; 如果是球形, 则加注  $S\phi$ 。它反映了几何公差要求的高低。

(3) 方向 几何公差带的方向理论上应与图样上几何公差框格指引线所指的方向垂直。公差带的实际方向根据几何公差项目性质不同, 分别按下列方法确定:

1) 对于形状公差带, 其放置方向由最小条件确定。

2) 对于定向公差带 (平行度、垂直度和倾斜度), 其放置方向由被测要素与基准的几何关系 (平行、垂直和倾斜) 确定。其中基准的方向由最小条件确定。

3) 对于定位公差带 (同轴度、对称度、位置度), 其放置方向由相对于基准的理论正确尺寸确定。其中同轴度、对称度分别由基准轴线、基准中心面确定 (即理论正确尺寸为 零), 而位置度则由三坐标体系中给出的理论正确尺寸确定。

(4) 位置 位置指公差带位置是固定的还是浮动的。所谓固定是指公差带的位置不随实际尺寸的变动而变化, 如由理论正确尺寸定位的同轴度、对称度和位置度, 其公差带位置是固定的。所谓浮动是指公差带的位置随实际 (组成) 要素的变化 (上升或下降) 而浮动, 如无位置要求的形状公差带和相对于基准由尺寸公差确定的平行度、垂直度和倾斜度, 其公差带位置可在尺寸公差范围内上、下浮动。

### 3.1.3 几何公差的标注

在技术图样中, 几何公差应采用代号标注。当无法采用代号标注, 如现有的几何公差项目无法表达, 或采用代号标注过于复杂时, 才允许在图样的技术要求中用文字说明。

几何公差代号包括: 几何公差框格、指引线、几何公差项目的符号、几何公差值和有关符号以及基准符号等, 如图 3-3 所示。

对被测要素的几何公差要求, 填写在公差框格内。几何公差框格至少有两格, 也有多格的。按规定从左到右填写框格, 第一格为公差项目符号, 第二格

为公差值和有关符号, 从第三格起为代表基准的字母。基准字母采用大写的英文字母, 为了避免混淆, 不得采用  $E$ 、 $F$ 、 $I$ 、 $J$ 、 $L$ 、 $M$ 、 $O$ 、 $P$ 、 $R$  这几个字母。

图 3-4a 所示为两格的填写方法示例, 图 3-4b 所示为三格的填写方法示例, 其中  $A-B$  表示由基准  $A$  和  $B$  共同组成的公共基准。图 3-4c 所示为五格的填写方法示例, 其中基准字母  $A$ 、 $B$ 、 $C$  依次表示第一、第二、第三基准。

几何公差标注时, 必须注意以下几方面。

(1) 区分被测 (基准) 要素是轮廓要素还是中心要素 当被测 (基准) 要素为中心要素时, 指引线的箭头 (基准符号的连线) 应与尺寸线对齐, 如图 3-5 所示。

当被测 (基准) 要素为轮廓要素时,



图 3-3 几何公差标注代号

a) 形状公差代号 b) 位置公差代号

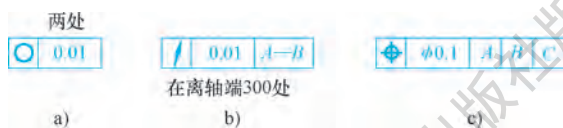


图 3-4 几何公差框格的形式

箭头（基准符号）指向该轮廓要素或指向其引出线上，并应明显地与尺寸线错开，如图 3-6 所示。

(2) 区分指引线的箭头指向是公差带的宽度方向还是直径方向 若指引线的箭头指向公差带的宽度方向，几何公差值框格中

只标出数值；若指引线的箭头指向公差带的直径方向，几何公差框格中，在数值前加注“ $\phi$ ”；若公差带是球体，则在数值前加注“ $S\phi$ ”。

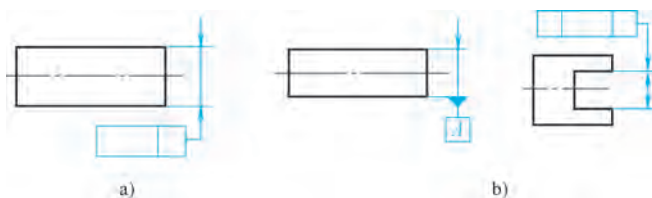


图 3-5 中心要素的标注

a) 被测要素为中心要素时的注法 b) 基准要素为中心要素时的注法

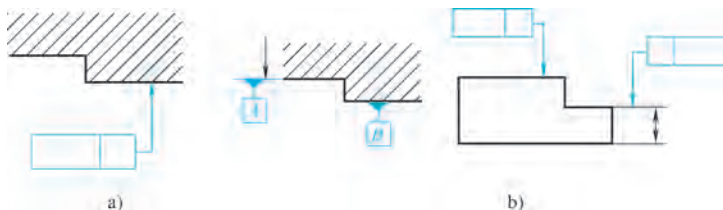


图 3-6 被测轮廓要素的标注

a) 被测要素为轮廓要素时的标注 b) 基准要素为轮廓要素时的标注

(3) 正确掌握几何公差简化标注方法 在保证读图方便和不引起误解的前提下，可以简化标注方法。图 3-7 所示为同一要素有多项几何公差项目要求的标注示例。图 3-8 所示为不同要素有同一几何公差项目要求的标注示例。还可以在几何公差框格的上方或下方加文字说明，属于被测要素数量的说明，应写在公差框格的上方；属于解释性的说明（包括对测量方法的要求等），应写在公差框格的下方。

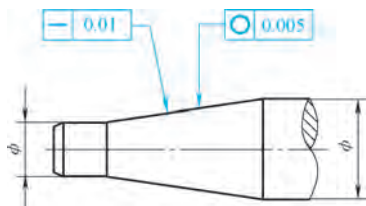


图 3-7 同一要素有多项几何公差要求时的标注

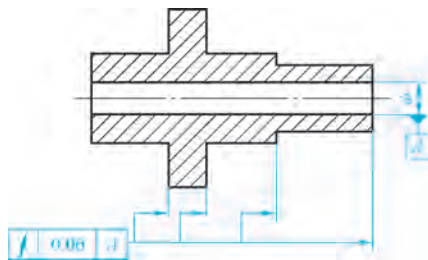


图 3-8 不同要素有同一几何公差要求时的标注

## 3.2 几何公差项目及误差检测

### 3.2.1 形状公差及误差检测

#### 1. 形状误差和形状公差

形状公差是为限制形状误差而设置的，除轮廓度项目有基准要求外，形状公差用于单一

要素,所以形状公差是单一要素的形状所允许的变动全量。形状误差值不大于相应的公差值,则认为合格。

## 2. 最小条件准则

国家标准规定,最小条件是评定形状误差的基本准则。所谓最小条件就是被测实际要素对其理想要素的最大变动量为最小。以给定平面内的直线度为例来说明,如图 3-9 所示,被测要素的理想要素为直线,其方向有多种情况,如图中的 I、II、III 方向等,相应的包容区域的宽度为  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$  ( $f_1 < f_2 < f_3$ )。根据最小条件的要求, I 位置时两平行直线之间的包容区域宽度最小,故直线恰当的方向应该是 I,距离  $f_1$  为直线度误差。这种评定形状误差的方法称为最小区域法。

最小区域是根据被测实际要素与包容区域的接触状态来判别的。例如,评定在给定平面内的直线度误差时,实际直线与两包容直线至少应有高、低、高(或低、高、低)三点接触,这个包容区就是最小包容区,如图 3-9 中 I 所示区域;评定圆度误差时,包容区为两同心圆之间的区域,实际圆应至少有内、外交替的四点与两包容圆接触,这个包容区就是最小包容区,如图 3-10 所示。

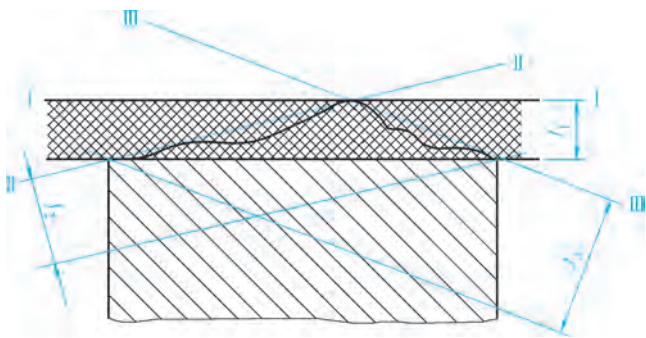


图 3-9 直线度误差的最小包容区域

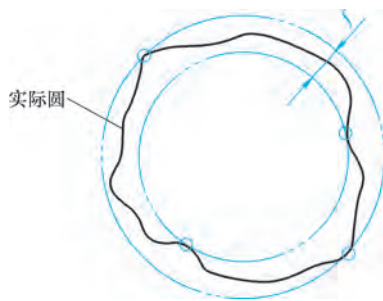


图 3-10 圆度误差的最小包容区域

形状公差值是在设计时给定的,而形状误差是在加工中产生、通过测量获得的。判断零件形状误差的合格条件为其形状误差值不大于其相应的形状公差值,即  $f \leq t$  或  $\phi f \leq \phi t$ 。

## 3. 形状公差带及检测

形状公差限制零件本身形状误差的大小,其中直线度、平面度、圆度和圆柱度四个项目为单一要素,属于形状公差项目。线轮廓度、面轮廓度中有基准要求的应看作位置公差项目,无基准要求的应看作形状公差项目。

形状公差的公差带定义、标注示例及常用检测方法见表 3-2。

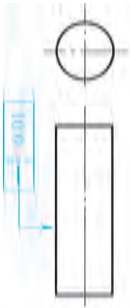
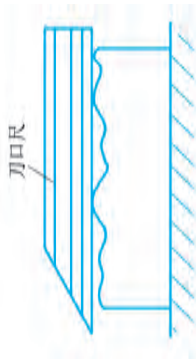
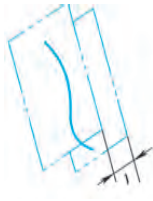
### 3.2.2 位置公差及误差检测

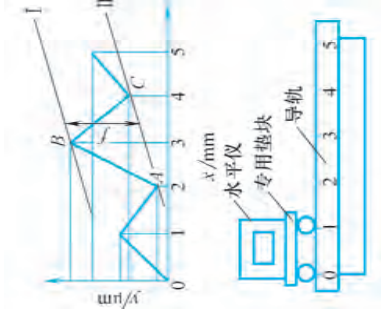
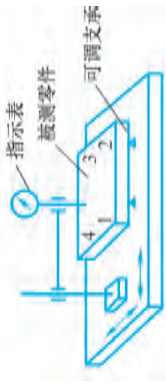
位置误差是指关联被测实际要素的方向或位置对其理想要素的变动量。而理想要素的方向或位置由基准确定。

#### 1. 基准

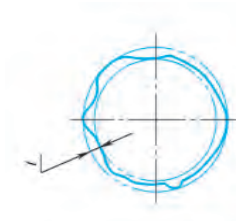
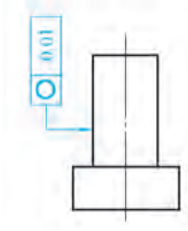
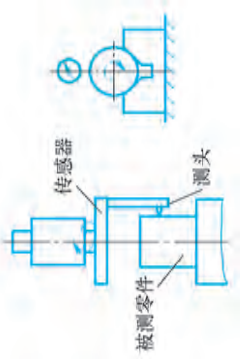
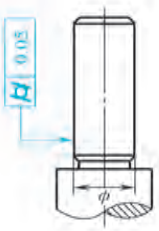
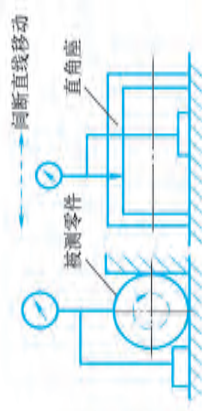
基准是反映被测要素的方向或位置的参考对象,是确定要素之间几何关系的依据。

表 3-2 形状公差的公差带定义、标注示例及常用检测方法 (摘自 GB/T 1182—2008 GB/T 1958—2017)

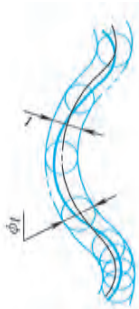
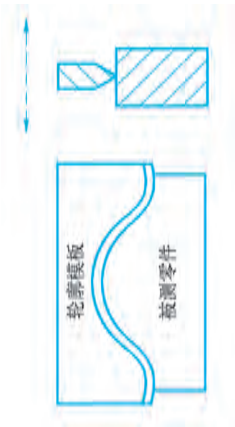
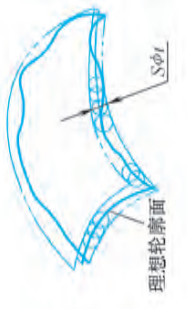
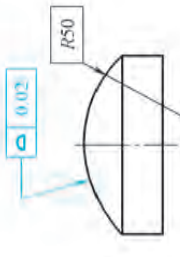
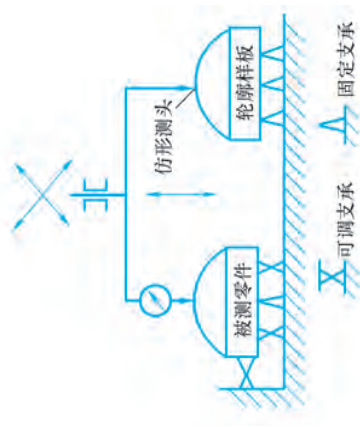
| 项目      | 公差带定义                                                                                                                                                 | 标注示例及读法                                                                                                                                    | 常用检测方法                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (一) 直线度 | <p>1. 在给定平面内</p>  <p>公差带是距离为公差值 <math>t</math> 的两平行直线之间的区域</p>     |  <p>被测圆柱面与任一轴向截面的交线必须位于在该平面内距离为 0.01mm 的两平行直线区域内</p>     | <p>1. 用刀口尺或平尺测量：刀口位置要符合最小条件，其间隙可用塞尺测量，或与标准光隙比较估读</p>                                                                                                                                                  |
|         | <p>2. 在给定的一个方向上</p>  <p>公差带是距离为公差值 <math>t</math> 的两平行平面之间的区域</p> |  <p>被测棱线必须位于在给定方向上 (箭头所指方向上) 距离为公差值 0.02mm 的两平行平面区域内</p> | <p>2. 用节距法测量：适用于用水平仪或自准直仪测量狭长表面如导轨等。如下图所示将水平仪放在专用垫块上，根据专用垫块将被测长度分为若干段，使专用垫块首尾相接，逐段测量。水平仪气泡移动的读数表示被测轮廓线在一定长度内对水平线的高度误差值。将各段的高度误差值按比例绘在坐标纸上，横坐标表示分段距离，纵坐标表示被测轮廓线的高度误差值，连接各点，绘出误差曲线，用最小区域法评定其直线度误差</p>  |

|                |                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                | <p>3. 在给定互相垂直的两个方向上</p>  <p>公差带是在互相垂直的两个方向上距离分别为公差值 <math>t_1</math> 和 <math>t_2</math> 的两组平行平面之间的区域</p> |  <p>被测棱线必须位于在互相垂直的两个方向上距离分别为公差值 0.1mm 和 0.2mm 的两组平行平面之间的区域</p> | <p>下图中 <math>f</math> 为直线度误差。由于纵横坐标比例不同，误差曲线实际上是变了形的实际轮廓线，所以误差值 <math>f</math> 不能沿平行线垂直方向量取，一般沿纵坐标方向量 <math>f</math>，这与实际相差甚微</p>                                                                       |
| <p>(二) 平面度</p> | <p>公差带是距离为公差值 <math>t</math> 的两平行平面之间的区域</p>                                                            | <p>被测 <math>\phi d</math> 轴的轴线必须位于直径为公差值 0.01mm 的圆柱面区域内</p>    |  <p>一般平面可支承在平板上，调整支承使被测表面对角线二端点 1 与 3、2 与 4 分别等高，指示表最大与最小读数的差值近似地作为平面度误差，必要时可按最小条件出求其平面度误差。此外还可用水准仪、自准直仪、平面干涉等测量</p>  |

(续)

| 项目        | 公差带定义                                                                                                                                     | 标注示例及读法                                                                                                                            | 常用检测方法                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (三) 圆 度   |  <p>公差带是在同一正截面上, 半径差为公差值 <math>t</math> 的两同心圆之间的区域</p> |  <p>被测圆柱面的任一正截面的圆周必须位于半径差为公差值 0.01mm 的两同心圆之间</p> |  <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 用圆度仪测量: 测量时传感器的测头始终接触被测零件, 并绕其旋转一周, 在坐标纸上自动描绘出放大的实际轮廓</li> <li>2. 采用近似测量方法: ①两点法: 用千分尺等量出同一截面最大与最小直径, 其差的半值即为该截面的圆度误差, 取各截面中最大误差值作为该零件的圆度误差, 此法用于测量偶数棱工件。②三点法: 如上图所示, 被测零件转一周, 指示表最大与最小读数差的半值即为其圆度差, 此法适用于测量奇数棱工件</li> </ol> |
| (四) 圆 柱 度 |  <p>公差带是半径差为公差值 <math>t</math> 的两同轴圆柱面之间的区域</p>       |  <p>被测圆柱面必须位于半径差为公差值 0.05mm 的两同心圆柱面之间</p>       |  <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 用三坐标测量仪测量</li> <li>2. 采用近似测量方法, 被测零件放在 V 形铁或直角座 (图示) 上测量</li> </ol>                                                                                                                                                         |

机械工业出版社版权所有

|                 |                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                               |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>(五) 线轮廓线</p> |  <p>公差带是包络一系列直径为公差值 <math>t</math> 的圆的两包络线之间的区域，诸圆的圆心应位于具有理论正确几何形状的线上。</p> |  <p>在平行于图样所示投影面的任一截面上，被测轮廓线必须位于包络一系列直径为公差值 <math>0.04\text{mm}</math>，且圆心位于由理论正确尺寸 <math>R25\text{mm}</math> 所确定的几何形状上的两包络线之间</p> |  <p>一般用样板，投影仪检测。图示用样板测量，根据光隙大小估读，取最大间隙作为该零件的线轮廓度误差。此外还可以用坐标测量装置或仿形测量装置测量</p> |
| <p>(六) 面轮廓度</p> |  <p>公差带是包络一系列直径为公差值 <math>t</math> 的球的两包络面之间的区域，诸球的球心应位于具有理论正确几何形状的面上</p>  |  <p>被测轮廓面必须位于包络一系列球的两包络面之间，诸球的直径为公差值 <math>0.02\text{mm}</math>，且球心位于由理论正确尺寸 <math>R50\text{mm}</math> 所确定的几何形状的面上</p>            |  <p>一般用截面轮廓样板检测，也可用在坐标测量装置或仿形测量装置（图示）测量</p>                                 |

(1) 基准的种类 在图样上标出的基准通常分为三种：单一基准、组合基准或公共基准、基准体系。

1) 单一基准：由一个要素建立的基准，如图 3-11 所示。图中由一个平面要素建立基准，该基准就是基准平面  $A$ 。

2) 组合基准（公共基准）。由两个或两个以上的要素建立的一个独立基准称为组合基准或公共基准，如图 3-12 所示。由两段轴线  $A$ 、 $B$  建立起公共基准轴线  $A-B$ 。在公差框格中标注时，将各个基准字母用短横线相连起来写在同一格内，以表示作为一个基准使用。

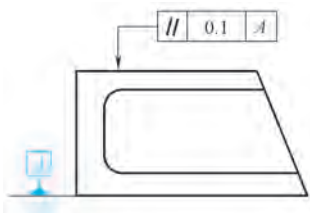


图 3-11 单一基准

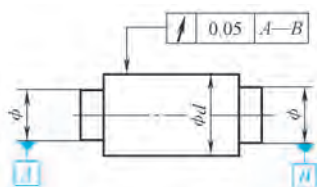


图 3-12 组合基准

3) 基准体系（三基面体系）。由三个相互垂直的平面所构成的基准体系即三基面体系。如图 3-13 所示。应用三基面体系时，应注意基准的标注顺序，选最重要的或最大的平面作为第一基准  $A$ ，选次要或较长的平面作为第二基准  $B$ ，选不太重要的平面作第三基准  $C$ 。

(2) 基准的建立和体现 评定位置误差的基准应是理想的基准要素。但基准要素本身也是实际加工出来的，也存在形状误差。因此，基准应该由基准实际要素根据最小条件或最小区域法来建立。在实际检测中，基准的体现方法通常用模拟法。

模拟法是用形状足够精确的表面模拟基准。例如以平板表面体现基准平面，如图 3-14 所示；以心轴表面体现基准孔的轴线，如图 3-15 所示。

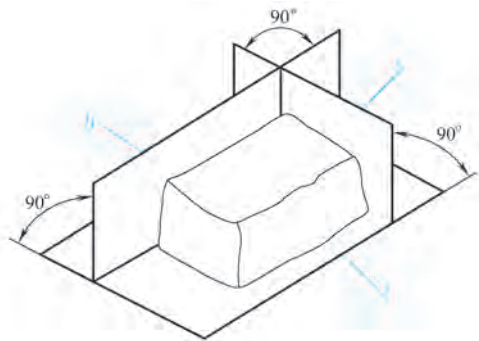


图 3-13 三基面体系

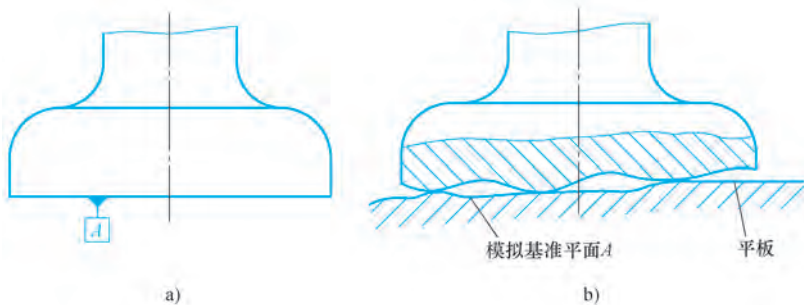


图 3-14 用平板模拟基准平面

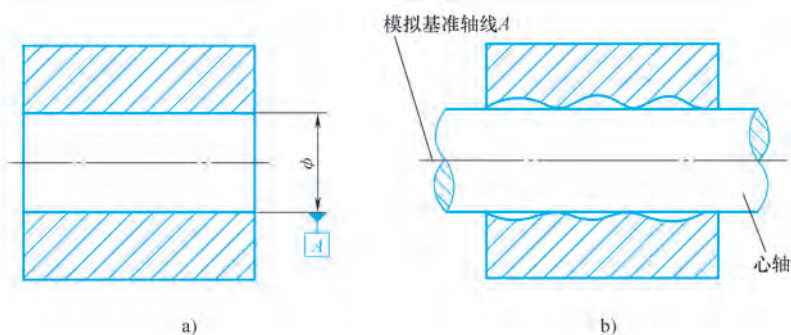


图 3-15 用心轴模拟基准孔轴线

## 2. 位置公差带及检测

位置公差按其特征可分为定向、定位和跳动公差三类。

(1) 定向公差与公差带 定向公差是关联实际要素对其具有确定方向的理想要素的允许变动量。理想要素的方向由基准及理论正确尺寸（角度）确定。当理论正确角度为  $0^\circ$  时，称为平行度公差；为  $90^\circ$  时，称为垂直度公差；为任意角度时，称为倾斜度公差。这三项公差都有面对面、线对线、面对线和线对面这四种情况。

表 3-3 列出了定向公差的公差带定义、标注示例及常用检测方法。

定向公差带具有如下特点：

- 1) 定向公差带相对于基准有确定的方向，而其位置往往是浮动的。
- 2) 定向公差带具有综合控制被测要素的方向和形状的功能。如平面的平行度公差，可以控制该平面的平面度和直线度误差；轴线的垂直度公差可以控制该轴线的直线度误差。在保证使用要求的前提下，对被测要素给出定向公差后，通常不再对该要素提出形状公差要求。需要对被测要素的形状有进一步的要求时，可再给出形状公差，但其公差数值应小于定向公差值。

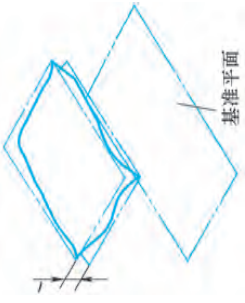
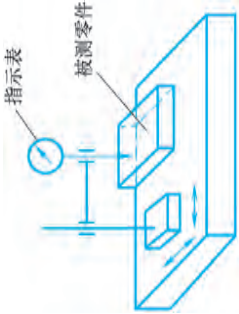
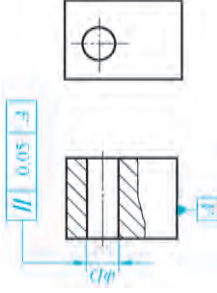
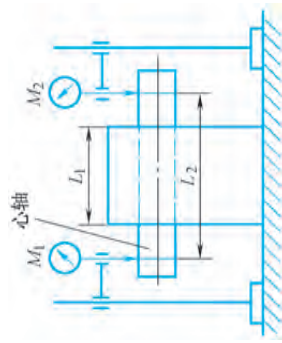
(2) 定位公差与公差带 定位公差是关联实际要素对其具有确定位置的理想要素的允许变动量。理想要素的位置由基准及理论正确尺寸（长度或角度）确定。当理论正确尺寸为零，且基准要素和被测要素均为轴线时，称为同轴度公差；当理论正确尺寸为零，基准要素或被测要素为其他中心要素（中心平面）时，称为对称度公差；在其他情况下均称为位置度公差。

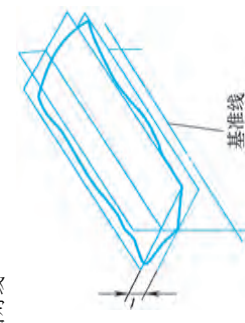
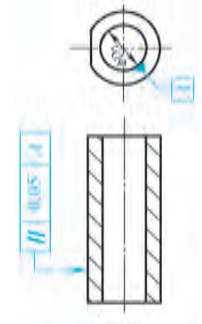
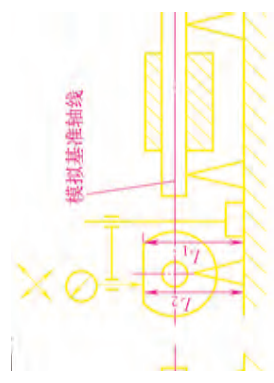
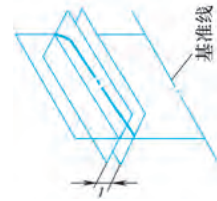
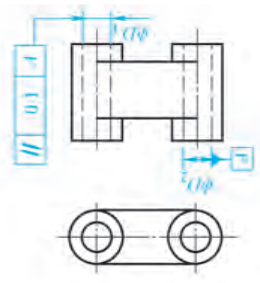
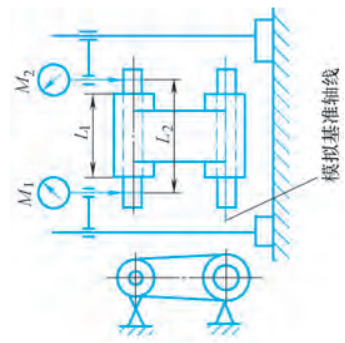
表 3-4 列出了定位公差的公差带定义、标注示例及常用检测方法。

定位公差带具有如下特点：

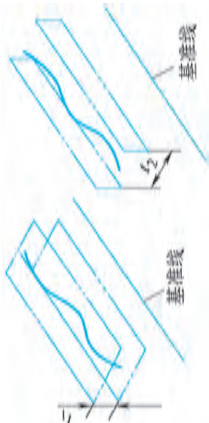
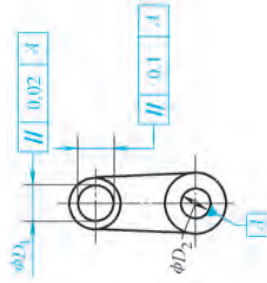
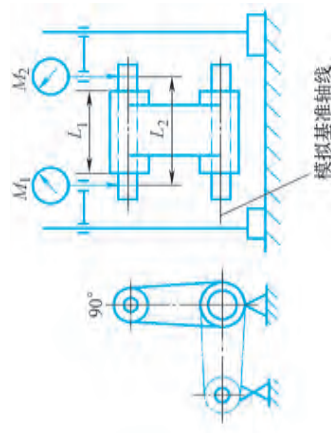
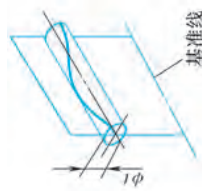
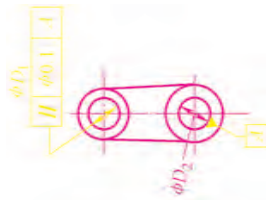
- 1) 定位公差带相对于基准具有确定的位置。位置度公差带的位置由理论正确尺寸确定，同轴度和对称度的理论正确尺寸为零，图上可省略不注。
- 2) 定位公差带具有综合控制被测要素位置、方向和形状的功能。如平面的位置度公差，可以控制该平面的平面度误差和相对于基准的方向误差；同轴度公差可以控制被测轴线的直线度误差和相对于基准轴线的平行度误差。在满足使用要求的前提下，对被测要素给出定位公差后，通常对该要素不再给出定向公差和形状公差。如果需要对方向和形状有进一步要求时，则可另行给出定向或形状公差，但其数值应小于定位公差值。

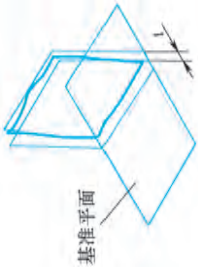
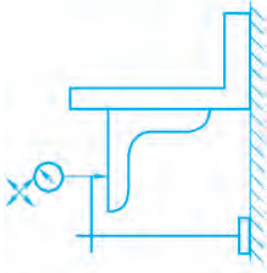
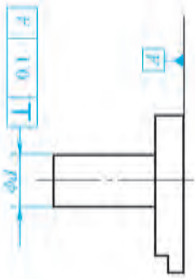
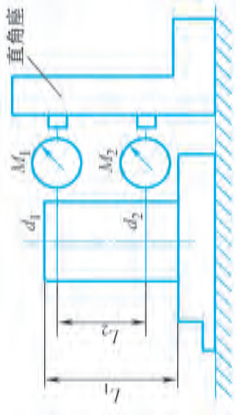
表 3-3 定向公差的公差带定义、标注示例及常用检测方法（摘自 GB/T 1182—2008、GB/T 1958—2017）

| 项目                     | 公差带定义                                                                                                                                    | 标注示例及读法                                                                                                                                                        | 常用检测方法                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 在给定一个方向上。<br>a. 面对面 |  <p>公差带是距离为公差值 <math>t</math>，且平行于基准平面的两平行平面之间的区域</p> |  <p>被测表面（上表面）必须位于距离为公差值 0.05mm，且平行于基准平面 A（底面）的两平行平面之间</p>                    |  <p>将被测零件的基准表面放在平板上，在被测表面范围内，指示表最大与最小读数之差为平行度误差</p>                                                                                                                                       |
| b. 线对面                 | 同上                                                                                                                                       |  <p>被测 <math>\phi D</math> 孔的中心线必须位于距离为公差值 0.05mm，且平行于基准平面 A（底面）的两平行平面之间</p> |  <p>被测轴线由心轴模拟。在测量距离为 <math>L_2</math> 的两个位置上测得的读数分别为 <math>M_1</math> 和 <math>M_2</math>，则平行度误差 <math>f</math> 为</p> $f = \frac{L_1}{L_2}  M_1 - M_2 $ <p>式中 <math>L_1</math>——被测轴的长度</p> |

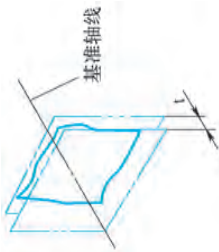
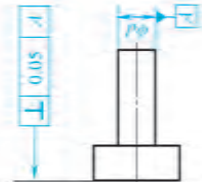
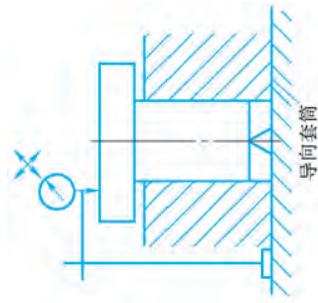
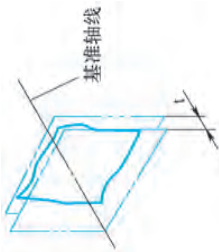
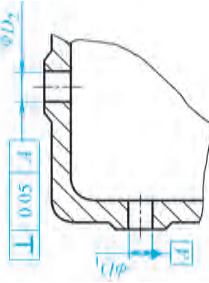
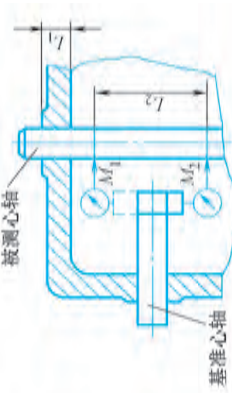
|   |                                                                                                              |                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 度 | <p>c. 面对线</p>  <p>基准线</p> |  <p>被测表面必须位于距离为公差值 0.05mm，且平行于基准轴线 A 的两平行平面之间</p>                                      |  <p>模拟基准轴线</p> <p>基准轴线由心轴模拟。将被测零件放在等高支承上，并转动零件，使 <math>L_1 = L_2</math>，然后测量整个表面，指示表的最大与最小读数之差作为该零件的平行度误差</p>                                                                                                                |
|   | <p>d. 线对线</p>  <p>基准线</p> |  <p>被测 <math>\phi D_1</math> 孔的中心线必须位于距离为公差值 0.1mm，且在给定方向（垂直方向）上平行于基准轴线 A 的两平行平面之间</p> |  <p>模拟基准轴线</p> <p>基准轴线和被测轴线均由心轴模拟。将被测零件放在等高支承上，在测量距离为 <math>L_2</math> 的两个位置上测得的读数分别为 <math>M_1</math> 和 <math>M_2</math>。则平行度误差 <math>f</math> 为</p> $f = \frac{L_1}{L_2}  M_1 - M_2 $ <p>式中 <math>L_1</math>——被测轴线的长度</p> |

(续)

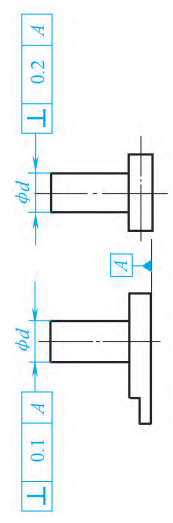
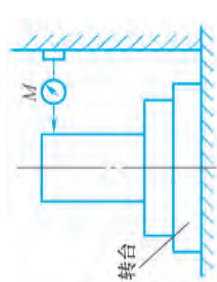
| 项目  | 公差带定义                                                                                                       | 标注示例及读法                                                                                      | 常用检测方法                                                                                                                                                                         |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 平行度 | <p>2. 在给定互相垂直的两个方向上</p>  |            |  <p>按上述方法分别测出轴线在垂直方向上和水平方向上的平行度误差 <math>f_{\text{垂直}}</math> 和 <math>f_{\text{水平}}</math></p> |
|     | <p>公差带是在互相垂直的两个方向上距离分别为公差值 <math>t_1</math> 和 <math>t_2</math>，且平行于基准线的两组平行平面之间的区域</p>                      | <p>被测 <math>\phi D_1</math> 轴线必须位于在垂直和水平方向上，距离分别为公差值 0.1mm 和 0.2mm，且平行于基准轴线 A 的两组平行平面区域内</p> | <p>按上述方法分别测出 <math>f_{\text{垂直}}</math> 和 <math>f_{\text{水平}}</math>，则被测轴线在任意方向上的平行度误差 <math>f</math> 为</p> $f = \sqrt{f_{\text{垂直}}^2 + f_{\text{水平}}^2}$                     |
|     | <p>3. 在任意方向上</p>        |           |                                                                                                                                                                                |
|     | <p>公差值前加注 <math>\phi</math>，公差带是直径为公差值 <math>t</math>，且平行于基准轴线的圆柱面内的区域</p>                                  | <p>被测 <math>\phi D_1</math> 轴线必须位于直径为公差值 0.1mm，且平行于基准轴线 A 的圆柱面内</p>                          |                                                                                                                                                                                |

|            |                                                                                                                      |                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>垂直度</p> | <p>1. 在给定一个方向上</p> <p>a. 面对面</p>  |  <p>被测表面（右侧面）必须位于距离为公差值 0.05mm，且垂直于基准平面 A（底面）的两平行面之间</p>                        |  <p>将被测零件的基准面固定在直角座上。同时调整靠近基准的被测表面的读数差为最小值，取指示表在整个被测表面测得的最大与最小读数之差作为其垂直度误差</p>                                                                                                                                                                                         |
|            | <p>b. 线对面</p>                     |  <p>在给定方向上，被测 <math>\phi d</math> 轴线必须位于距离为公差值 0.1mm，且垂直于基准平面 A（底面）的两平行面之间</p> |  <p>在给定方向上测量距离为 <math>L_2</math> 的两个位置，测得 <math>M_1</math> 和 <math>M_2</math> 及相应的轴径 <math>d_1</math> 和 <math>d_2</math> 则在该方向上的垂直度误差 <math>f</math> 为</p> $f = \frac{L_1}{L_2} \left  (M_1 - M_2) + \frac{d_1 - d_2}{2} \right $ <p>式中 <math>L_1</math>——为被测轴线的长度</p> |

(续)

| 项目           | 公差带定义                                                                                                                                    | 标注示例及读法                                                                                                                                                                                  | 常用检测方法                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| c. 面对线       |  <p>公差带是距离为公差值 <math>t</math>，且垂直于基准轴线的两平行平面之间的区域</p> |  <p>被测表面（左端面）必须位于距离为公差值 0.05mm，且垂直于基准线 A（<math>\phi d</math> 轴线）的两平行面之间</p>                            |  <p>基准轴线由导向套筒模拟。将被测零件放在导向套筒内，然后测量整个被测表面，取最大读数差作为该零件的垂直度误差</p>                                                                                                                                                   |
| d. 线对线<br>同上 |  <p>公差带是距离为公差值 <math>t</math>，且垂直于基准轴线的两平行平面之间的区域</p> |  <p>被测 <math>\phi D_2</math> 孔的中心线必须位于距离为公差值 0.05mm，且垂直于基准线 A（<math>\phi D_1</math> 孔的中心线）的两平行面之间</p> |  <p>基准轴线和被测轴线均由心轴模拟。转动基准心轴，在测量距离为 <math>L_2</math> 的两个位置上测得的数值分别为 <math>M_1</math> 和 <math>M_2</math></p> <p>垂直误差度 <math>f</math> 为</p> $f = \frac{L_1}{L_2}  M_1 - M_2 $ <p>式中 <math>L_1</math> —— 被测轴线的长度</p> |

垂直

|   |                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                       |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 度 | <p>2. 在给定互相垂直的两个方向上</p>  <p>公差带是在互相垂直的两个方向上距离分别为公差值 <math>t_1</math> 和 <math>t_2</math>，且垂直于基准平面的两组平行平面之间的区域</p> | <p>按在给定方向上线对面垂直度误差的测量方法，分别测出在互相垂直的两个方向上的垂直度误差</p>                                                                                                                                                     |
|   | <p>3. 在任意方向上</p>  <p>公差值前加注 <math>\phi</math>，公差带是直径为公差值 <math>t</math>，且垂直于基准平面的圆柱面内的区域</p>                   |  <p>除按上述方法测量外，还可在转台上测量。被测零件放置在转台上，并使被测轴线与转台的回转轴线对中（通常在被测轮廓要素的较低位置对中）。测量若干横截面内轮廓要素上各点的半径差，并记录在同一坐标图上，用图解法求出其垂直度误差</p> |

(续)

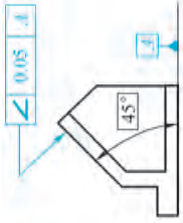
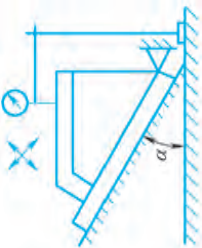
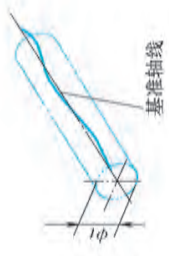
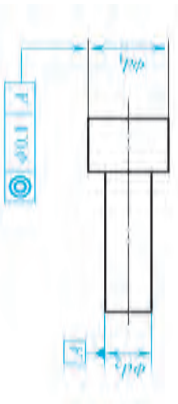
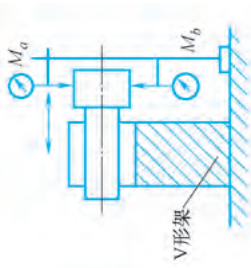
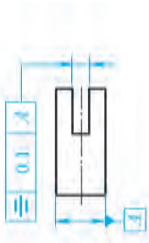
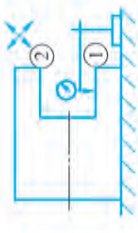
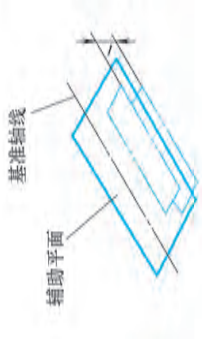
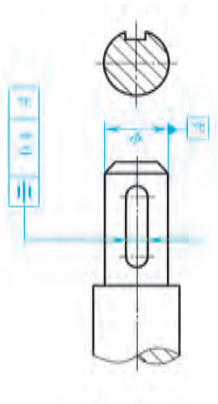
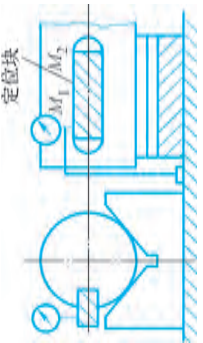
| 项目          | 公差带定义                                                                                                                                                                           | 标注示例及读法                                                                                                                                                                                  | 常用检测方法                                                                                                                                                 |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 倾<br>斜<br>度 |  <p>基准平面</p> <p>公差带是距离为公差值 <math>t</math>，且与基准面（线）成一给定角度 <math>\alpha</math> 的两平行平面之间的区域</p> |  <p><math>\angle 0.05 \ A</math></p> <p>被测表面（斜面）必须位于距离为公差值 0.05mm，且与基准平面 A（底面）成理论正确角度 45° 的两平行平面之间</p> |  <p>将被测零件放在定角座（或正弦尺）上，调整被测件，使整个被测表面的读数差为最小值。指示表的最大与最小读数之差作为其倾斜度误差</p> |

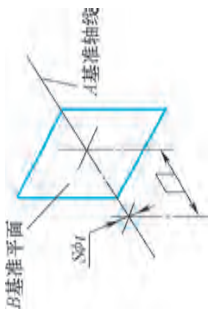
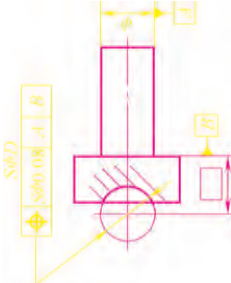
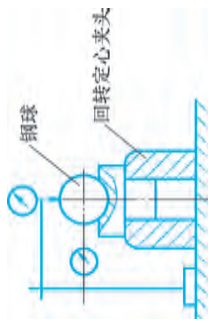
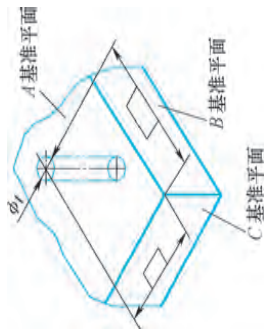
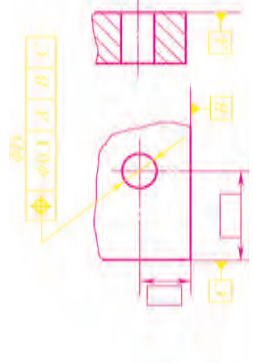
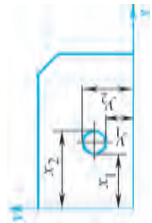
表 3-4 定位公差的公差带定义、标注示例及常用检测方法（摘自 GB/T 1182—2008、GB/T 1958—2017）

| 项目          | 公差带定义                                                                                                                                                                       | 标注示例及读法                                                                                                                                                                                                              | 常用检测方法                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 同<br>轴<br>度 |  <p>基准轴线</p> <p>公差值前加注 <math>\phi</math>，公差带是直径为公差值 <math>t</math>，且与基准轴线同轴的圆柱面内的区域</p> |  <p><math>\phi 0.1 \ A</math></p> <p>被测 <math>\phi d_1</math> 轴的轴线必须位于直径为公差值 0.1mm，且与基准轴线 A（<math>\phi d_2</math> 轴的轴线）同轴的圆柱面内</p> |  <p>V形架</p> <p>基准轴线由 V 形架模拟。将两指示表分别在铅垂轴向截面调零。先在轴向截面上测量，各对应点的读数差值 <math> M_a - M_b </math> 中最大值为该截面上的同轴度误差。然后，转动被测零件测量若干截面，取各截面测得的读数差中最大值（绝对值）作为该零件的同轴度误差，此法适用于测量形状误差较小的零件。此外，还可利用圆度仪，三坐标测量仪按定义测量或用同轴度量规检测</p> |

|              |                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>对 称 度</p> |  <p>基准中心平面</p> <p>公差带是距离为公差值 <math>t</math>，且相对基准中心平面对称配置的两平行平面之间的区域</p>       |  <p>被测槽的中心平面必须位于距离为公差值 0.1mm，且相对基准中心平面对称配置的两平行平面之间</p>                |  <ol style="list-style-type: none"><li>1. 测量被测表面与平板之间的距离</li><li>2. 将被测件翻转后，测量另一被测表面与平板之间的距离。</li></ol> <p>取测量截面内对应两测点的最大差值作为对称度误差</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|              |  <p>基准轴线</p> <p>辅助平面</p> <p>公差带是距离为公差值 <math>t</math>，且相对基准轴线对称配置的两平面之间的区域</p> |  <p>被测键槽的中心平面必须位于距离为公差值 0.1mm，且相对基准轴线 <math>A</math> 对称配置的两平行平面之间</p> |  <p>定位块</p> <p>基准轴线由 V 形架模拟，被测中心平面由定位块模拟。先在定位块一端 <math>M_1</math> 处测量，调整被测件使定位块沿径向与平板平行，测量定位块至平板的距离，再将被测件旋转 <math>180^\circ</math> 重复上述测量，得到指示表的一个读数差。同样，在定位块另一端 <math>M_2</math> 处测得另一个读数差。上述二个读数差中的较大值为 <math>a_1</math>，较小值为 <math>a_2</math>，则轴槽的对称度误差 <math>f</math> 为</p> $f = \frac{d(a_1 - a_2) + 2a_2h}{2(d - h)}$ <p>式中 <math>d</math>——轴的直径<br/><math>h</math>——键槽深度<br/><math>a_1</math>、<math>a_2</math>——测得的读数差，且 <math> a_1  &gt;  a_2 </math></p> |

机械工业出版社版权所有

(续)

| 项目  | 公差带定义                                                                                                                                                                                                                                              | 标注示例及读法                                                                                                                                                                                                                              | 常用检测方法                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 位置度 | <p>1. 点的位置度</p>  <p>公差值前加注 <math>S\phi</math>, 公差带是直径为公差值 <math>t</math> 的球内区域, 该球的球心位置由相对基准 <math>A</math> 和 <math>B</math> 的理论正确尺寸确定</p>                      |  <p>被测球的球心必须位于直径为公差值 <math>0.08\text{mm}</math> 的球内, 该球的球心位于由相对基准 <math>A</math> 和 <math>B</math> 理论正确尺寸所确定的理想位置上</p>                              |  <p>装上标准零件, 并放置适当直径的钢球, 将指示表调零。然后换上被测零件, 以钢球球心模拟被测球面的中心。被测零件回转一周, 径向指示表最大读数差之半为径向误差 <math>f_x</math>, 垂直方向指示表最大读数为轴向误差 <math>f_y</math>, 被测点位置度误差 <math>f</math> 为</p> $f = 2\sqrt{f_x^2 + f_y^2}$                                                                                                                                                                                                    |
| 位置度 | <p>2. 线的位置度</p>  <p>公差值前加注 <math>\phi</math>, 公差带是直径为公差值 <math>t</math> 的圆柱内区域, 该圆柱轴线的中心位置由相对于三基准平面 <math>A</math>、<math>B</math>、<math>C</math> 的理论正确尺寸确定</p> |  <p>被测 <math>\phi D</math> 孔的中心线必须位于直径为公差值 <math>0.1\text{mm}</math> 的圆柱内, 该圆柱的轴线位置由基准 <math>A</math>、<math>B</math>、<math>C</math> 的理论正确尺寸确定</p> |  <p>按基准顺序调整被测零件, 使其与测量装置的坐标方向一致。将心轴插入被测孔中, 测量心轴相对基准的坐标尺寸 <math>x_1</math>、<math>x_2</math>、<math>y_1</math>、<math>y_2</math>, 则孔的实际坐标尺寸: <math>x = \frac{x_1 + x_2}{2}</math>, <math>y = \frac{y_1 + y_2}{2}</math>。将 <math>x</math>、<math>y</math> 分别与相应的理论正确尺寸比较, 得到 <math>f_x</math> 和 <math>f_y</math>, 则位置度误差为 <math>f = 2\sqrt{f_x^2 + f_y^2}</math>, 然后把被测件翻转, 重复上述测量。取其中较大的误差值作为该零件的位置度误差</p> |

(3) 跳动公差与公差带 跳动公差是针对特定的检测方式而定义的公差项目。它是被测要素绕基准要素回转过程中所允许的最大跳动量,也就是指示器在给定方向上指示的最大读数与最小读数之差的允许值。跳动公差又分为圆跳动和全跳动。

表 3-5 列出了跳动公差带定义、标注示例及常用检测方法。

跳动公差带具有如下特点:

1) 跳动公差带的位置具有固定和浮动双重特点,一方面公差带的中心(或轴线)始终与基准轴线同轴,另一方面公差带的半径又随实际要素的变动而变动。

2) 跳动公差具有综合控制被测要素的位置、方向和形状的作用。例如,径向圆跳动公差带可综合控制圆柱度和圆度误差,径向全跳动公差带可综合控制同轴度和圆柱度误差,轴向全跳动公差带可综合控制端面对基准轴线的垂直度误差和平面度误差。在满足使用要求的前提下,对被测要素给出跳动公差后,通常对该要素不再给出位置公差和形状公差。如果需要的位置和形状有进一步要求时,可另行给出位置或(和)形状公差,但其数值应小于跳动公差值。

3) 跳动公差适用于回转表面或其端面。

### 3. 位置误差的评定

评定位置误差的大小,采用定向或定位最小包容区去包容被测实际要素,这个最小包容区与基准保持给定的几何关系,且使包容区的宽度或直径最小。

图 3-16 所示的面对面的垂直度误差是包容被测实际平面并包容得最紧、且与基准平面保持垂直的两平行平面之间的距离,这个包容区称为定向最小包容区。图 3-17 所示的台阶轴,被测轴线的同轴度误差是包容被测实际轴线并包得最紧、且与基准轴线同轴的圆柱面的直径,这个包容区称为定位最小包容区。

定向、定位跳动最小包容区的形状与其对应的公差带形状相同。当最小包容区的宽度或直径小于公差值时,即  $f \leq t$  或  $\phi f \leq \phi t$  时,被测要素是合格的。

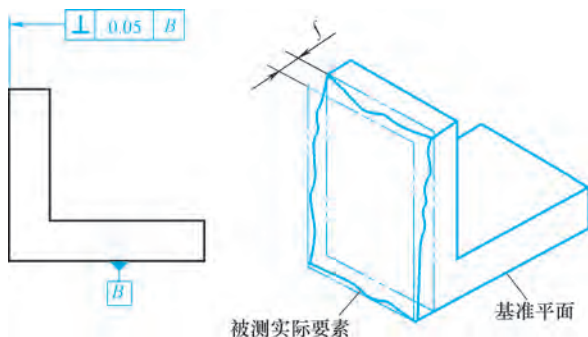


图 3-16 定向最小包容区域

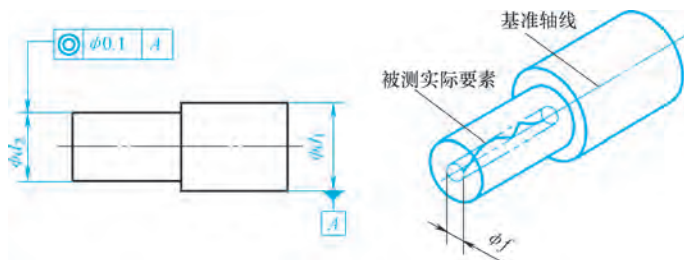
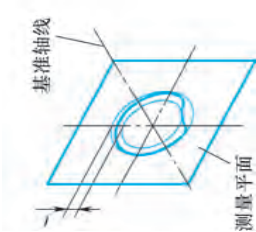
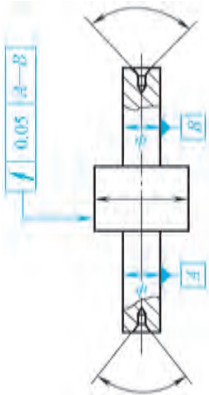
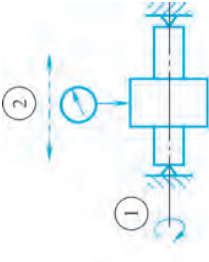


图 3-17 定位最小包容区域

表 3-5 跳动公差带的定义、标注示例及常用检测方法 (摘自 GB/T 1182—2008、GB/T 1958—2017)

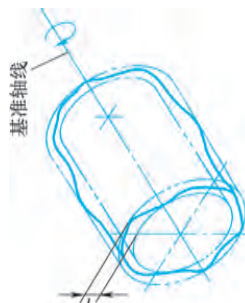
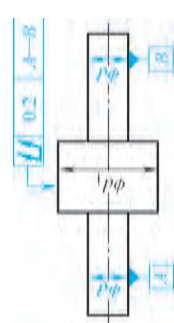
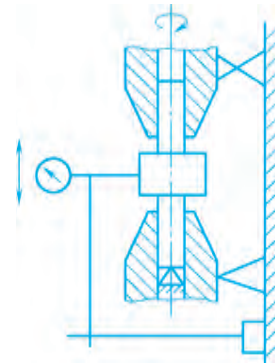
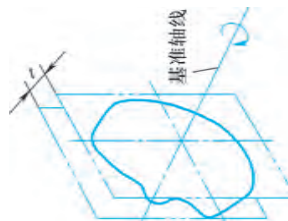
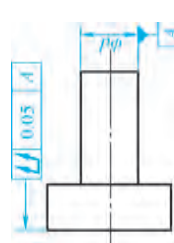
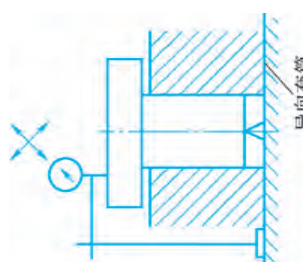
| 项目       | 公差带定义                                                                               | 标注示例及读法                                                                            | 常用检测方法                                                                            |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 径向圆跳动 |  |  |  |
|          | 公差带是在垂直于基准轴线的任一测量平面内半径差为公差值 $t$ , 且圆心在基准轴线的两同心圆之间的区域                                | 当被测要素围绕公共基准线 $A-B$ 作无轴向移动旋转一周时, 在任一测量平面内的径向圆跳动量均不大于 $0.05\text{mm}$                | 基准轴线由二个同心圆尖顶模拟。①被测件回转一周, 指示表读数最大差值为单个测量平面上的径向圆跳动。②以各个测量平面的跳动量中的最大值作为该零件的径向圆跳动     |

圆跳

(续)

|   |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                     |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 动 | <div data-bbox="292 1407 539 1643"> </div> <div data-bbox="582 1298 678 1751"> <p>公差带是在与基准轴线同轴的任一直径位置的测量圆柱面上沿轴线方向距离为公差值 <math>t</math> 的圆柱面区域</p> </div>                                                                          | <div data-bbox="307 895 454 1219"> </div> <div data-bbox="499 832 595 1284"> <p>被测平面(左端面)围绕基准轴线 <math>A(\phi d</math> 轴线)作无轴向移动旋转一周时,在任一测量圆柱面内的轴向跳动量均不得大于 <math>0.05\text{mm}</math></p> </div> | <div data-bbox="274 370 454 679"> </div> <div data-bbox="499 227 629 816"> <p>基准轴线由 V 形架模拟。被测零件由 V 形架支承,并在轴向定位。①被测零件回转一周,指示表读数的最大差值为单个测量圆柱面上的端面圆跳动。②以各测量圆柱面上测得跳动量中的最大值为该零件的端面圆跳动</p> </div>                         |
|   | <div data-bbox="845 1389 1058 1663"> </div> <div data-bbox="778 1598 801 1731"> <p>3. 斜向圆跳动</p> </div> <div data-bbox="1103 1298 1199 1751"> <p>公差带是在与基准轴线同轴的任一测量圆锥面上距离为公差值 <math>t</math> 的两圆之间的区域。除另有规定,其测量方向应与被测面垂直</p> </div> | <div data-bbox="812 903 1022 1215"> </div> <div data-bbox="1068 832 1163 1264"> <p>被测表面围绕基准轴线 <math>A(\phi d</math> 轴线)作无轴向移动旋转一周时,在任一测量圆锥面上的跳动量均不得大于 <math>0.05\text{mm}</math></p> </div>     | <div data-bbox="741 427 1026 622"> </div> <div data-bbox="1072 227 1236 816"> <p>基准轴线由导向套筒(弹簧夹头)模拟。被测零件固定在导向套筒内,并在轴向定位。①被测零件回转一周,指示表读数的最大值为单个测量圆锥面上的斜向圆跳动,测量时指示表测量头要垂直被测表面。②以各个测量圆锥面上的跳动量中的最大值为该零件的斜向圆跳动</p> </div> |

(续)

| 项目       | 公差带定义                                                                                                                                      | 标注示例及读法                                                                                                                                                                                                     | 常用检测方法                                                                                                                                                                                          |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 径向全跳动 |  <p>公差带是半径差为公差值 <math>t</math>, 且与基准线同轴的两圆柱面之间的区域</p>   |  <p>当被测要素围绕公共基准线 <math>A-B</math> 作若干次旋转, 并在测量仪器与工件间作轴向移动, 此时在被测要素上各点间的示值差均不得大于 <math>0.2\text{mm}</math></p>             |  <p>将被测零件固定在同轴导向套筒内, 同时在轴向定位并调整该对套筒, 使其与平板平行</p> <p>在被测零件连续回转过程中, 同时让指示表沿基准轴线方向做直线运动, 指示表读数最大差值即为该零件的径向全跳动</p> |
| 2. 轴向全跳动 |  <p>公差带是距离为公差值 <math>t</math>, 且垂直于基准轴线的两平行平面之间的区域</p> |  <p>当被测表面(左端面)绕基准轴线 <math>A(\phi d</math> 轴线)作若干次旋转, 并在测量仪器与工件间作径向移动, 此时在被测要素上各点间的示值差均不得大于 <math>0.05\text{mm}</math></p> |  <p>基准轴线由导向套筒模拟。将被测零件放在导向套筒内, 然后测量整个被测表面, 取最大读数差即为该零件的轴向全跳动</p>                                               |

全跳动

机械工业出版社 版权所有

### 3.2.3 检测原则及应用

#### (1) 几何误差的检测原则

1) 与理想要素比较原则 将被测要素与理想要素比较,由直接法或间接法获得。应用该检测原则时,理想要素可用不同的方法体现。例如用实物体现,刀口尺的刀口、平尺的工作面、一条拉紧的钢丝绳、平台和平板的工作面以及样板的轮廓等都可作为理想要素。如表 3-3 中图示的用刀口形直尺测量直线度误差,是以刀口作为理想直线,被测直线与之比较。根据光隙大小或用塞尺测量来确定直线度误差。

理想要素也可用运动轨迹来体现。图 3-18 所示为用圆度仪测量圆度误差,是以一个精密回转轴上的一个点(测头)在回转中所形成的轨迹(即产生的理想圆)为理想要素,被测圆与之比较求得圆度误差。此外,理想要素还可以用一束光线、水平线(面)来体现。

2) 测量坐标值原则 测量被测实际要素的坐标值,经数据处理获得几何误差值。

几何要素的特征总是可以在坐标中反映出来,用坐标测量装置如三坐标测量仪、工具显微镜等测得被测要素上各测点的坐标值后,经数据处理获得几何误差值。该原则对轮廓度、位置度测量应用较为广泛。

3) 测量特征参数原则 测量被测实际要素具有代表性的参数表示几何误差值。用该原则所得到的几何误差值与按定义确定的几何误差值相比,只是一个近似值,但应用此原则,可以简化过程和设备,也不需要复杂的数据处理,生产现场用得较多。例如,以平面上任意方向的最大直线度来近似表示该平面的平面度误差;用两点法测圆度误差;在一个横截面内的几个方向上测量直径,取最大直径与最小直径之差的一半作为圆度误差。

4) 测量跳动原则 被测实际要素绕基准轴线回转过程中,沿给定方向测量其对参考点(线)的变动量。如图 3-19 所示,用 V 形架模拟基准轴线,并对零件轴向限位,在被测要素回转一周的过程中,指示器最大与最小读数之差为该截面的径向圆跳动误差;若被测要素回转的同时,指示器缓慢地轴向移动,在整个过程中,指示器最大读数与最小读数之差为该工件的径向全跳动误差。

5) 控制实效边界原则 检验被测实际要素是否超过实效边界,以判断被测实际要素合格与否。按最大实体要求(或同时采用最大实体要求及可逆要求)给出几何公差时,意味着给出了一个理想边界即最大实体实效边界,要求被测实体不得超越该边界。

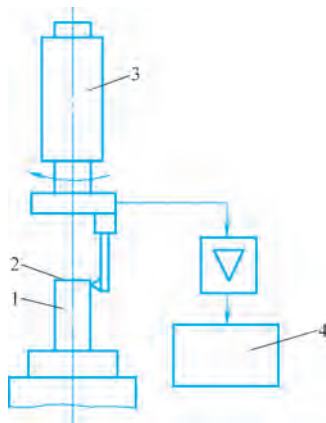


图 3-18 用圆度仪测量圆度误差

1—工件 2—测头 3—精密  
回转轴 4—记录仪

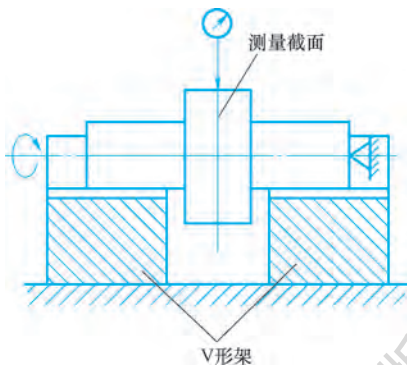


图 3-19 径向跳动误差测量

## (2) 实例分析

**例 3-1** 如图 3-20 所示, 要求测量上平面对下平面的平行度, 简述其检测步骤。

**检测步骤:**

- 1) 由于基准面下平面也有形状误差, 可用平板的精确平面作为模拟基准, 按最小条件把零件下平面与平板稳定接触可认为下平面为基准要素。
- 2) 与基准平面平行作两个包容实际表面的平行平面, 就形成最小包容区域。
- 3) 以最小包容区域间距  $f$  定为平行度误差值。

**例 3-2** 作图分析形状公差、定向公差、定位公差三者的异同。

**解** 1) 形状公差带仅用于控制被测要素的形状误差, 如图 3-21 所示。圆度不能控制圆锥体尺寸大小。

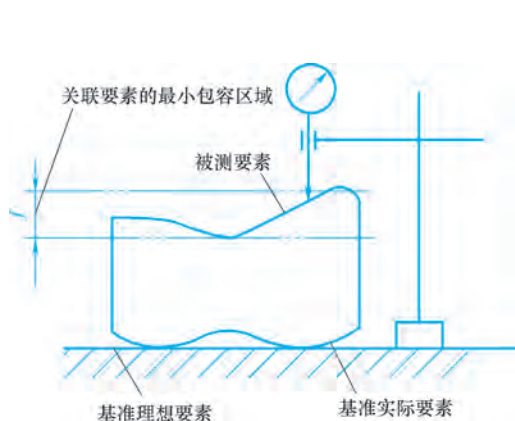


图 3-20 平行度测量

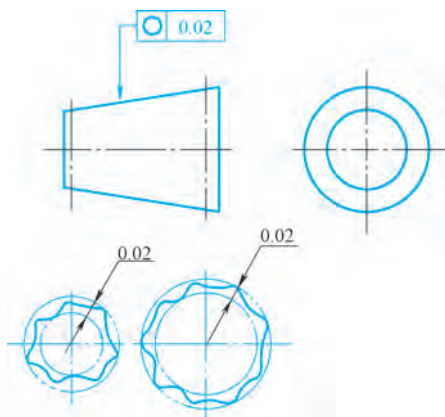


图 3-21 圆度控制圆锥体截面

2) 定向公差带用于控制被测要素的方向和形状, 公差带位置随尺寸公差的变动范围而相对于基准浮动。如图 3-22 所示, 尺寸为 19.8mm 时公差带位于公称尺寸 20mm 的下方, 尺寸为 20.2mm 时公差带位于公称尺寸 20mm 的上方。

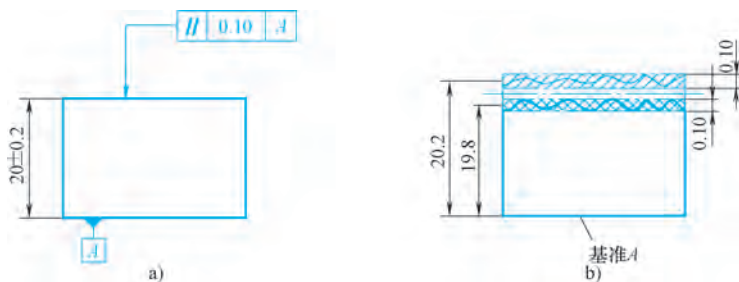


图 3-22 浮动公差带示意图

3) 定位公差带用于控制被测要素的位置、方向和形状, 定位公差带具有确定的位置, 相对于基准的尺寸由理论正确尺寸确定。如图 3-23 所示, 公差带为  $\phi 0.3\text{mm}$  的圆, 其圆心是由 A 和 B 两基准确定的唯一点。

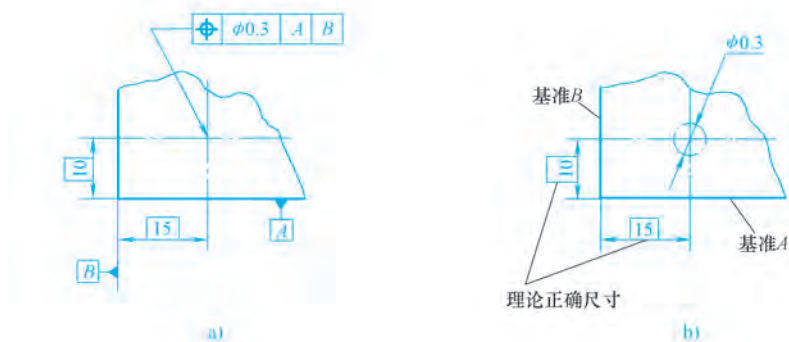


图 3-23 定位公差带示意图

**例 3-3** 在图 3-24 中画出被测要素的平面度、平行度和位置度误差的最小包容区域。并说明如果标注公差,  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$  应是怎样的关系。

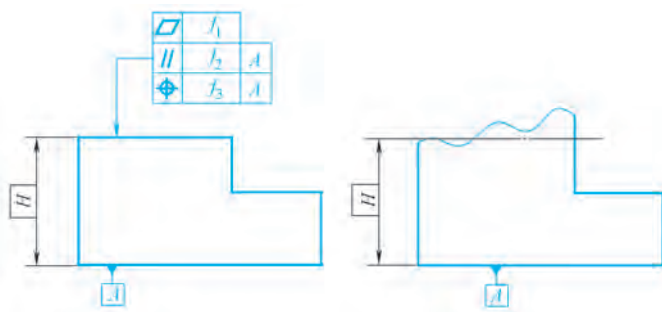


图 3-24 例 3-3 图

**解** 结合例 3-1 和例 3-2 分析, 可得被测要素的平面度、平行度和位置度误差的最小包容区域为: ①平面度误差的理想面方向由最小条件确定, 平面度最小包容区域如图 3-25 中  $f_1$  所示; ②平行度误差的理想面方向与基准 A 的理想面方向平行, 平行度最小包容区域如图 3-25 中  $f_2$  所示; ③位置度误差的理想面方向由基准 A 的理想面方向确定, 且公差带的中心由理论正确尺寸  $H$  固定, 位置度最小包容区域如图 3-25 中  $f_3$  所示。

因为: ①形状公差带仅用于控制被测要素的形状误差; ②定向公差带用于控制被测要素的方向和形状; ③定位公差带用于控制被测要素的位置、方向和形状。故对图 3-24 所示的同一要素加工表面上, 其定位误差中包含定向误差, 定向误差中包含形状误差。如果标注公差, 则  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$  之间的关系应是  $f_1 < f_2 < f_3$ 。

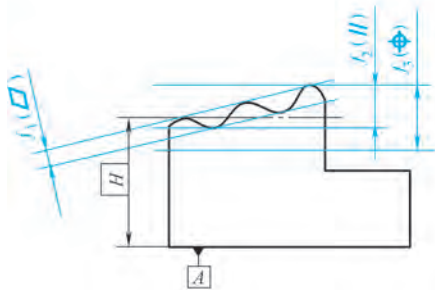


图 3-25 形状、定向、定位公差带的方向与位置的区别

## 3.3 公差原则

零件上几何要素的实际状态是要素的尺寸和几何误差综合作用的结果,两者都会影响零件的配合性质,因此,在设计和检测时,需要明确几何公差与尺寸公差之间的关系。处理几何公差与尺寸公差之间关系的原则称为公差原则。公差原则分为独立原则和相关要求。相关要求又分为包容要求、最大实体要求、最小实体要求和可逆要求。

### 3.3.1 有关术语

#### 1. 作用尺寸

(1) 体外作用尺寸 即零件装配时起作用的尺寸,由被测要素的实际尺寸和几何误差综合形成。在被测要素的给定长度上,与实际内表面(孔)体外相接的最大理想面或与实际外表面(轴)体外相接的最小理想面的直径或宽度,称为体外作用尺寸。

内表面(孔)的体外作用尺寸以  $D_{fe}$  表示,外表面(轴)的体外作用尺寸以  $d_{fe}$  表示,如图3-26所示。

对于关联要素,该理想面的轴线或中心平面必须与基准  $A$  保持图样给定的几何关系,如图3-27所示。

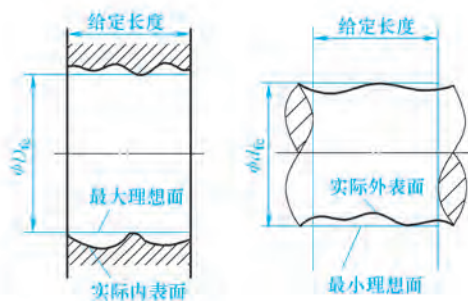


图 3-26 单一要素的体外作用尺寸

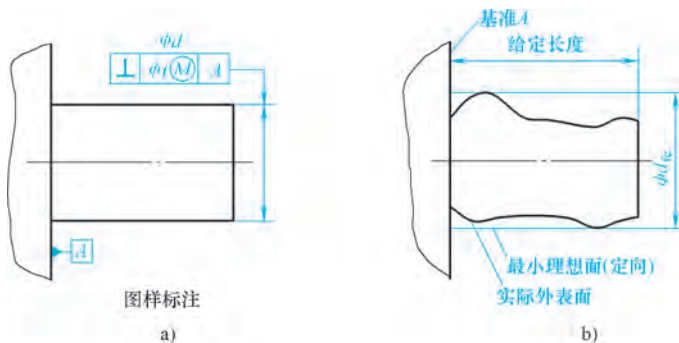


图 3-27 关联要素的体外作用尺寸

(2) 体内作用尺寸 即零件强度计算时起作用的尺寸,由被测要素的实际尺寸和几何误差综合形成。在被测要素的给定长度上,与实际内表面(孔)体内相接的最小理想面,或与实际外表面(轴)体内相接的最大理想面的直径或宽度,称为体内作用尺寸。

内表面(孔)的体内作用尺寸以  $D_{fi}$  表示,外表面(轴)的体内作用尺寸以  $d_{fi}$  表示,如图3-28所示。

对于关联要素,该理想面的轴线或中心平面必须与基准保持图样给定的几何关系。

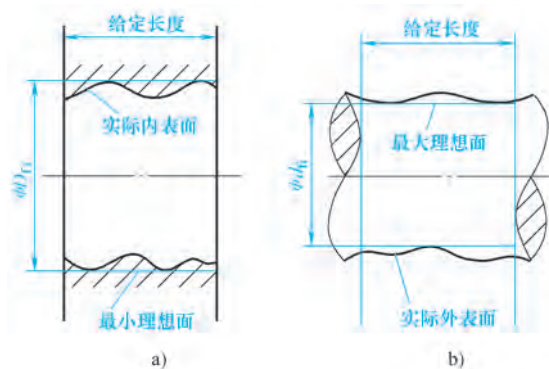


图 3-28 单一要素的体内作用尺寸

孔的体内作用尺寸大于该孔的最大局部实际尺寸, 轴的体内作用尺寸小于该轴的最小局部实际尺寸 (图 3-28)。

## 2. 最大实体实效状态和最大实体实效尺寸

(1) 最大实体实效状态 MMVC 在给定长度上, 实际要素处于最大实体状态且其中心要素的几何误差等于给出的几何公差值时的综合极限状态。

(2) 最大实体实效尺寸 ( $D_{MV}$   $d_{MV}$ ) 最大实体实效状态下的体外作用尺寸。对于内表面, 为最大实体尺寸减去中心要素的几何公差值  $t_{几何}$ , 用  $D_{MV}$  表示; 对于外表面, 为最大实体尺寸加上中心要素的几何公差值  $t_{几何}$ , 用  $d_{MV}$  表示。即

内表面 (孔)  $D_{MV} = D_{min} - t_{几何}$

外表面 (轴)  $d_{MV} = d_{max} + t_{几何}$

## 3. 最小实体实效状态和最小实体实效尺寸

(1) 最小实体实效状态 MMVS 在给定长度上, 实际要素处于最小实体状态且其中心要素的形位误差等于给出的几何公差值时的综合极限状态。

(2) 最小实体实效尺寸 ( $D_{LV}$   $d_{LV}$ ) 最大实体实效状态下的体外作用尺寸。对于内表面, 为最小实体尺寸加上中心要素的几何公差值  $t_{几何}$ , 用  $D_{LV}$  表示; 对于外表面, 为最小实体尺寸减去几何公差值  $t_{几何}$ , 用  $d_{LV}$  表示。即

内表面 (孔)  $D_{LV} = D_{max} + t_{几何}$

外表面 (轴)  $d_{LV} = d_{min} - t_{几何}$

作用尺寸与实效尺寸的区别: ①作用尺寸由实际尺寸和几何误差综合形成, 对每个零件不尽相同。如对一批轴而言是一变量,  $d_m = d_a + f_{几何}$ 。②实效尺寸由实体尺寸和几何公差综合形成, 对每个零件均相同。如对一批轴而言是一定量,  $d_{MV} = d_{max} + t_{几何}$ 。③实效尺寸可以视为作用尺寸的允许极限值。

## 4. 理想边界

理想边界是设计时给定的、具有理想形状的极限边界。边界用于综合控制实际要素的尺寸和几何误差。根据零件的功能及经济性, 可以给出如下边界:

- 1) 最大实体边界 (MMB): 尺寸为最大实体尺寸的边界。
- 2) 最小实体边界 (LMB): 尺寸为最小实体尺寸的边界。
- 3) 最大实体实效边界 (MMVB): 尺寸为最大实体实效尺寸的边界。

4) 最小实体实效边界 (LMVB): 尺寸为最小实体实效尺寸的边界。

其中, 最大实体边界用于包容原则, 最大实体实效边界用于最大实体要求, 最小实体实效边界用于最小实体要求。

### 3.3.2 独立原则及其应用

(1) 独立原则的含义及特点 独立原则指被测要素在图样上给出的尺寸公差与几何公差无相互关系, 分别满足要求的原则, 如图 3-29 所示。图样上注出的尺寸要求仅限制轴的局部实际尺寸, 即不管轴线怎样弯曲, 各局部实际尺寸只能在  $\phi 19.96 \sim \phi 20\text{mm}$  的范围内。同样, 不论轴的实际尺寸如何变动, 轴线直线度误差不得超过  $\phi 0.02\text{mm}$ 。

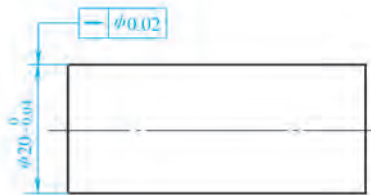


图 3-29 独立原则的标注

采用独立原则标注具有如下特点:

1) 尺寸公差仅控制要素的局部实际尺寸, 不控制其几何误差。

2) 给出的几何公差为定值, 不随要素的实际尺寸变化而改变。

3) 几何误差的数值采用通用量具测量。

(2) 独立原则的应用 大多数机械零件采用独立原则给出尺寸公差和几何公差。注意以下几点:

1) 对尺寸公差无严格要求, 对几何公差有较高要求时可采用独立原则。例如, 印刷机的滚筒, 重要的是控制其圆柱度误差, 以保证印刷时与纸面接触均匀, 保证图文清晰, 而滚筒的直径大小对印刷质量影响不大, 故可按独立原则给出圆柱度公差, 尺寸公差按一般公差处理。

2) 为了保证运动精度要求时, 可采用独立原则。例如, 当孔和轴配合后有轴向运动精度和回转精度要求时, 除了给出孔和轴的直径公差外, 还需给出直线度公差以满足轴向运动精度要求, 给出圆度 (或圆柱度) 公差以满足回转精度要求, 并且不允许随着孔和轴的实际尺寸变化而使直线度误差和圆度 (或圆柱度) 误差超过给定的公差值。这时要求尺寸公差和形状公差相互独立, 可采用独立原则。

3) 对于非配合要求的要素, 可采用独立原则。例如, 各种长度尺寸、退刀槽、间距、圆角和测角等。

### 3.3.3 相关要求及其应用

根据要素实际状态所应遵守的边界不同, 相关要求分为包容要求、最大实体要求、最小实体要求和可逆要求。

#### 1. 包容要求

(1) 包容要求的含义及特点 包容要求是指要求实际要素处处不得超过最大实体边界的一种公差原则。即实际轮廓要素应遵守最大实体边界, 其体外作用尺寸不超出最大实体尺寸, 且局部尺寸不得超过最小实体尺寸。按照这一公差原则, 如果实际要素达到最大实体状态, 就不得有任何几何误差; 只有在实际要素偏离最大实体状态时, 才允许存在与偏离量相等的形位误差。显然, 遵守包容要求时, 对于孔, 其局部实际尺寸应不大于其最小实体尺

寸；对于轴，其局部实际尺寸应不小于其最小实体尺寸。

包容要求只适用于处理单一要素的尺寸公差与几何公差的相互关系。

采用包容要求的单一要素应在其尺寸极限偏差或公差带代号之后加注符号“ $\textcircled{E}$ ”，如图 3-30a 所示。

包容要求的实质是当要素的实际尺寸偏离最大实体尺寸时，允许其形状误差增大（图 3-30 允许轴线的直线度增大），才能使实际要素始终位于理想边界上，它反映了尺寸公差与几何公差之间的补偿关系。因此，包容要求有以下几个特点：

- 1) 实际要素的体外作用尺寸不得超出最大实体尺寸（MMS）。
- 2) 当要素的实际尺寸处处为最大实体尺寸时，不允许有任何形状误差，即形状误差为零。
- 3) 当要素的实际尺寸偏离最大实体尺寸时，其偏离量可补偿给形状误差。
- 4) 要素的局部实际尺寸不得超出最小实体尺寸。

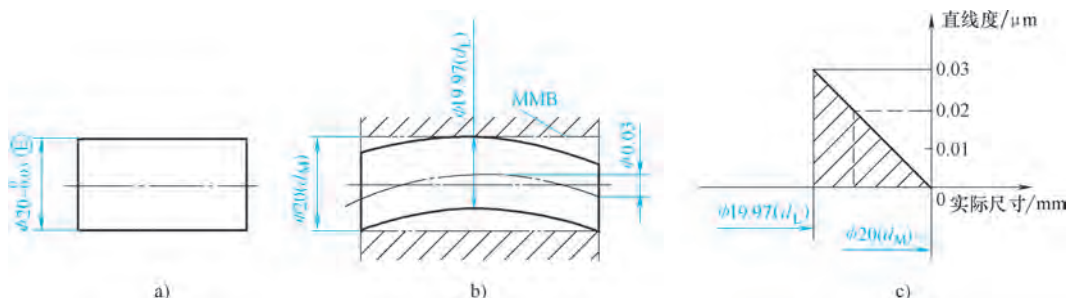


图 3-30 包容要求

可见，采用包容要求时，尺寸公差不仅限制了要素的实际尺寸，还控制了要素的形状误差。例如，图 3-30a 的轴按包容要求给出了尺寸公差，其表达的含义为：①当轴的直径均为最大实体尺寸  $\phi 20\text{mm}$  时，轴的直线度误差为零；②当轴的直径均为最小实体尺寸  $\phi 19.97\text{mm}$  时，允许轴具有  $\phi 0.03\text{mm}$  的直线度误差，如图 3-30b 所示；③轴的局部实际尺寸可在  $\phi 19.97 \sim \phi 20\text{mm}$  之间变动。

表 3-6 与图 3-30c 相对应列出了轴为不同实际尺寸所允许的几何误差值。

表 3-6 包容要求的实际尺寸及允许的几何误差 (单位：mm)

| 被测要素实际尺寸     | 被测要素边界尺寸  | 允许的直线度误差      |
|--------------|-----------|---------------|
|              |           | 给定值+被测要素补偿值   |
| $\phi 20$    | $\phi 20$ | $\phi 0+0$    |
| $\phi 19.99$ |           | $\phi 0+0.01$ |
| $\phi 19.98$ |           | $\phi 0+0.02$ |
| $\phi 19.97$ |           | $\phi 0+0.03$ |

(2) 包容要求的应用 包容要求常应用于要求保证配合性质的场合。例如， $\phi 25\text{H}7$  ( $^{+0.021}_0$ ) $\textcircled{E}$ 孔与  $\phi 25\text{h}6$  ( $^{0}_{-0.013}$ ) $\textcircled{E}$ 轴的间隙配合中，所需要的间隙是通过孔和轴各自遵守最大实体边界来保证的，这样既能保证预定的最小间隙等于零，避免了因孔和轴的形状误差而产生过盈，又可用最小实体尺寸控制最大间隙，从而达到所要求的配合性质。另外，包容要求还应用在配合精度要求较高的场合。例如，滚动轴承内圈与轴颈的配合，采用包容要求时

可以提高轴颈的尺寸精度，保证其严格的配合性质，确保滚动轴承运转灵活。

## 2. 最大实体要求

(1) 最大实体要求的含义及特点 最大实体要求是控制被测要素的实际轮廓处处不得超过最大实体实效边界的一种公差要求。即实际轮廓要素应遵守最大实体实效边界，其体外作用尺寸不超出最大实体实效尺寸，且局部尺寸不得超过最小实体尺寸。最大实体要求既可以用于被测要素，也可以用于基准要素。当其用于被测要素时，应在被测要素几何公差框格中的公差值后标注符号“ $\textcircled{M}$ ”；当其用于基准要素时，应在几何公差框格内的基准字母代号后标注符号“ $\textcircled{M}$ ”。

最大实体要求有如下特点：

- 1) 被测要素遵守最大实体实效边界，即被测要素的体外作用尺寸不超过最大实体实效尺寸。
- 2) 当被测要素的局部实际尺寸处处均为最大实体尺寸时，允许的几何误差为图样上给定的几何公差值。
- 3) 当被测要素的实际尺寸偏离最大实体尺寸后，其偏离量可补偿给几何公差，允许的几何误差为图样上给定的几何公差值与偏离量之和。
- 4) 实际尺寸必须在最大实体尺寸和最小实体尺寸之间变化。

下面仅就最大实体要求用于被测要素加以举例分析。

图 3-31a 表示轴  $\phi 20_{-0.3}^0 \text{ mm}$  的轴线直线度公差采用最大实体要求的原则给出。当被测要素处于最大实体状态时，其轴线直线度公差为  $\phi 0.1 \text{ mm}$ ，则轴的最大实体实效尺寸  $d_{MV} = d_{\max} + t_{\text{几何}} = \phi 20 \text{ mm} + 0.1 \text{ mm} = \phi 20.1 \text{ mm}$ 。根据最大实体实效尺寸  $d_{MV}$ ，可确定最大实体实效边界，该边界是一个直径为  $\phi 20.1 \text{ mm}$  的理想圆柱孔。

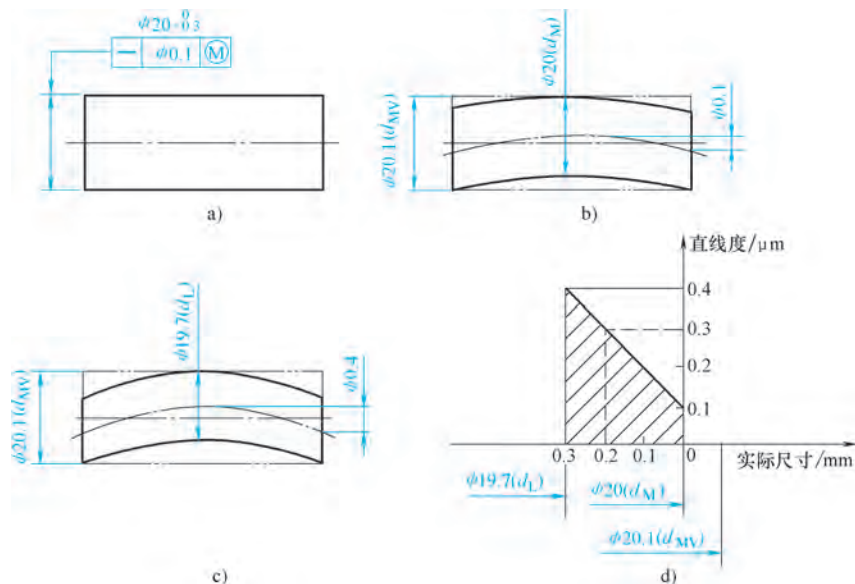


图 3-31 最大实体要求用于被测要素

分析如下：

- 1) 当轴处于最大实体状态（实际尺寸为  $\phi 20 \text{ mm}$ ）时，允许轴线的直线度误差为给定

的公差值  $\phi 0.1\text{mm}$ ，如图 3-31b 所示。

2) 当轴的尺寸偏离最大实体尺寸为  $\phi 19.9\text{mm}$  时，偏离量  $0.1\text{mm}$  可补偿给直线度公差，允许轴线的直线度误差为  $\phi 0.2\text{mm}$ ，即为给定的公差值  $0.1\text{mm}$  与偏离量  $0.1\text{mm}$  之和。

3) 当轴的尺寸为最小实体尺寸  $\phi 19.7\text{mm}$  时，偏离量达到最大值（等于尺寸公差  $0.3\text{mm}$ ），这时允许轴线的直线度误差为给定的直线度公差  $\phi 0.1\text{mm}$  与尺寸公差  $0.3\text{mm}$  之和，即为  $\phi 0.4\text{mm}$ ，如图 3-31c 所示。

4) 轴的实际尺寸在  $\phi 19.7 \sim \phi 20\text{mm}$  之间。

表 3-7 与图 3-31d 相对地列出了该轴为不同实际尺寸时所允许的几何误差值。

表 3-7 最大实体要求用于被测要素的实际尺寸及允许的几何误差（单位：mm）

| 被测要素实际尺寸    | 被测要素边界尺寸    | 允许的直线度误差                    |
|-------------|-------------|-----------------------------|
|             |             | 给定值+被测要素补偿值                 |
| $\phi 20$   | $\phi 20.1$ | $\phi 0.1 (\phi 0.1 + 0)$   |
| $\phi 19.9$ |             | $\phi 0.2 (\phi 0.1 + 0.1)$ |
| $\phi 19.8$ |             | $\phi 0.3 (\phi 0.1 + 0.2)$ |
| $\phi 19.7$ |             | $\phi 0.4 (\phi 0.1 + 0.3)$ |

(2) 最大实体要求的应用 最大实体要求与包容要求相比，可得到较大的尺寸制造公差和几何制造公差，具有良好的工艺性和经济性。因此，最大实体要求，一方面可用于零件尺寸精度和几何精度较低、配合性质要求不严的情况，另一方面可用于要求保证自由装配的情况。例如，盖板、箱体及法兰盘上孔系的位置度等。

应注意的是，最大实体要求只有零件的中心要素才具备应用条件。对于平面、直线等轮廓要素，不存在尺寸公差对几何公差的补偿问题，不具备应用条件。有关最大实体要求也可用于基准要素，对应的还有最小实体要求，在此不做赘述。

### 3. 可逆要求

最大实体要求允许尺寸公差可以补偿给几何公差，反过来，几何公差也可以补偿给尺寸公差，允许相应的尺寸公差增大，后者的补偿关系即遵循可逆要求（RR）。

被测要素的实际轮廓仍遵守其最大实体实效边界，当其实际尺寸偏离最大实体尺寸时，允许其几何误差值超出在最大实体状态下给出的几何公差值；当其几何误差值小于给出的几何公差值时，也允许其实际尺寸超出最大实体尺寸，这种要求称为可逆要求用于最大实体要求。

可逆要求用于最大实体要求的标注方法是在图样上的几何公差框格中，将表示可逆要求的符号 $\textcircled{R}$ 标注在被测要素的几何公差值后面的符号 $\textcircled{M}$ 之后。

下面就可逆要求用于最大实体要求加以举例说明。

例如，图 3-32a 所示的轴是可逆要求用于最大实体要求的实例。

按照这一要求，分析如下：

1) 当轴的实际尺寸偏离最大实体状态  $\phi 20\text{mm}$  时，允许其轴线的直线度误差增大（遵守最大实体要求）。

2) 当轴的直线度误差小于  $\phi 0.1\text{mm}$  时，也允许轴的直径增大。例如，当轴的直线度误差为零时，轴的实际尺寸可增至  $\phi 20.1\text{mm}$ ，如图 3-32b 所示。

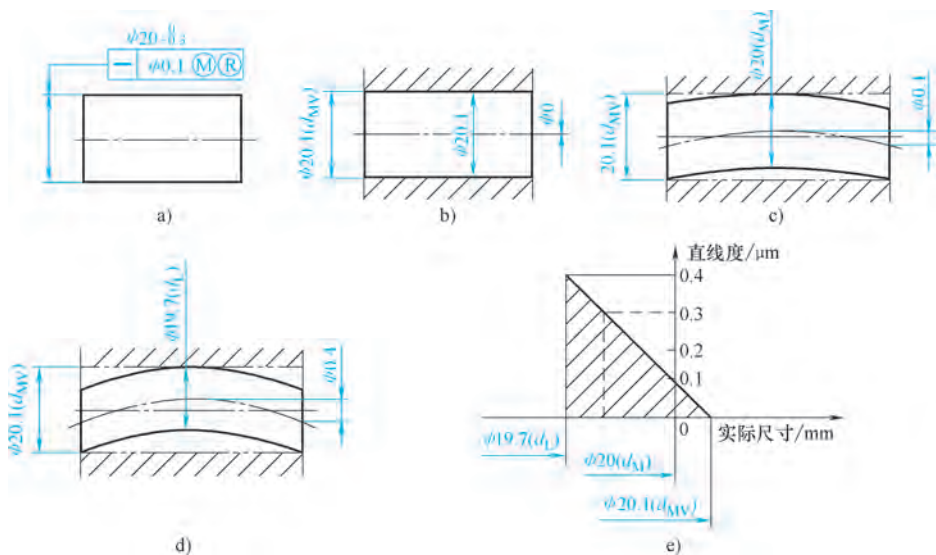


图 3-32 可逆要求用于最大实体要求

3) 轴的实际尺寸在  $\phi 19.7 \sim \phi 20.1 \text{ mm}$  之间变动。  
图 3-32e 所示为其动态公差图。相应的数据见表 3-8。

表 3-8 可逆要求用于最大实体要求的实际尺寸及允许的几何误差 (单位: mm)

| 被测要素实际尺寸    | 被测要素边界尺寸    | 允许的直线度误差                    |
|-------------|-------------|-----------------------------|
|             |             | 给定值+被测要素补偿值                 |
| $\phi 19.7$ | $\phi 20.1$ | $\phi 0.4 (\phi 0.1 + 0.3)$ |
| $\phi 19.8$ |             | $\phi 0.3 (\phi 0.1 + 0.2)$ |
| $\phi 20$   |             | $\phi 0.1 (\phi 0.1 + 0)$   |
| $\phi 20.1$ |             | $\phi 0 (\phi 0 + 0)$       |

## 3.4 几何公差的选择

几何公差的选择包括公差项目、基准、公差等级 (几何公差值) 和公差原则的选择。

### 3.4.1 公差项目的选择

公差项目的选择, 取决于零件的几何特征与使用要求, 同时还要考虑检测的方便性。

(1) 考虑零件的几何特征 要素的几何形状特征是选择被测要素公差项目的基本依据。例如, 圆柱形零件可选择圆柱度误差, 平面零件可选择平面度误差, 槽类零件可选择对称度误差, 阶梯孔、轴可选择同轴度误差, 凸轮类零件可选择轮廓度误差等。

(2) 考虑零件的功能要求 根据零件不同的功能要求, 选择不同的公差项目。例如, 齿轮箱两孔轴线的不平行, 将影响正常啮合, 降低承载能力, 故应选择平行度公差项目。为了保证机床工作台或刀架运动轨迹的精度, 需要对导轨提出直线度公差要求等。

(3) 考虑检测的方便性 当同样满足零件的使用要求时,应选用检测简便的项目。例如,同轴度公差常常被径向圆跳动公差或径向全跳动公差代替,端面对轴线的垂直度公差可以用轴向圆跳动公差或轴向全跳动公差代替。因为跳动公差检测方便,且与工作状态比较吻合。但应注意,径向全跳动是同轴度误差与圆柱面形状误差的综合结果,故当同轴度由径向全跳动代替时,给出的跳动公差值应略大于同轴度公差值,否则会要求过严。

### 3.4.2 基准的选择

基准的选择包括基准部位的选择、数量的确定以及顺序的合理安排。

(1) 基准部位的选择 选择基准时,主要应根据设计和使用要求,考虑基准统一原则和结构特征。具体应考虑如下几点:

- 1) 选用零件在机器中定位的结合面作为基准部位。例如,箱体的底平面和侧面、盘类零件的轴线、回转零件的支承轴颈或支承孔等。
- 2) 基准要素应具有足够的大小和刚度,以保证定位稳定可靠。例如,用两条或两条以上相距较远的轴线组合成公共基准轴线比一条基准轴线要稳定。
- 3) 选用加工比较精确的表面作为基准部位。
- 4) 尽量使装配、加工和检测基准统一,这样既可以消除因基准不统一而产生的误差,也可以简化夹具、量具的设计与制造,测量方便。

(2) 基准数量的确定 一般来说,应根据公差项目的定向、定位几何功能要求来确定基准的数量。定向公差大多只要一个基准,而定位公差则需要一个或多个基准。例如,对于平行度、垂直度和同轴度公差项目,一般只用一个平面或一条轴线作为基准要素;对于位置度公差项目,需要确定孔系的位置精度,就可能要用到两个或三个基准要素。

(3) 基准顺序的安排 当选用两个以上基准要素时,就要明确基准要素的次序,并按第一、二、三的顺序写在公差框格中,第一基准要素是主要的,第二基准要素次之。

### 3.4.3 公差等级的选择

公差等级的选择实质上就是对几何公差值的选择。国家标准规定,对 14 个几何公差项目,除线轮廓度、面轮廓度和位置度外,其余 11 项均规定了公差等级。圆度和圆柱度划分为 13 级,从 0~12 级。其余公差项目划分为 12 级,从 1~12 级。精度等级依次降低,12 级精度等级最低。

公差等级的选择原则与尺寸公差选择原则一样,在满足零件功能要求的前提下,尽量选用低的公差等级。

按类比法确定几何公差值时,应考虑以下几个问题。

(1) 几何公差和尺寸公差的关系 通常,同一要素的形状公差、位置公差和尺寸公差应满足关系式:  $T_{\text{形状}} < T_{\text{位置}} < T_{\text{尺寸}}$

(2) 有配合要求时形状公差与尺寸公差的关系 有配合要求并要严格保证其配合性质的要素,应采用包容要求。在工艺上,其形状公差大多数按分割尺寸公差的百分比来确定,即  $T_{\text{形状}} = kT_{\text{尺寸}}$

在常用尺寸公差 IT5~IT8 的范围内,  $k$  通常可取 25%~65%。

(3) 形状公差与表面粗糙度的关系 一般情况下,表面粗糙度值  $Ra$  约占形状公差值的 20%~25%。

(4) 考虑零件的结构特点 对于结构复杂、刚性较差或不易加工和测量的零件,如细

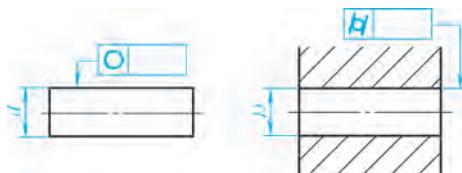
长轴、薄壁件等，在满足零件功能要求的前提下，可适当选用低 1~2 级的公差值。

几何公差值和几何公差等级的应用见表 3-9~表 3-12。

表 3-9 圆度和圆柱度公差（摘自 GB/T 1184—1996）

（单位：μm）

主参数  $d(D)$  图例



| 公差等级 | 主参数 $d(D)/\text{mm}$ |            |            |            |            |             |              |              |              |              |              | 应用举例                                 |
|------|----------------------|------------|------------|------------|------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------------------------|
|      | >6<br>~10            | >10<br>~18 | >18<br>~30 | >30<br>~50 | >50<br>~80 | >80<br>~120 | >120<br>~180 | >180<br>~250 | >250<br>~315 | >315<br>~400 | >400<br>~500 |                                      |
| 5    | 1.5                  | 2          | 2.5        | 2.5        | 3          | 4           | 5            | 7            | 8            | 9            | 10           | 安装 6 级和 4 级滚动轴承的配合面,通用减速器的轴颈,一般机床的主轴 |
| 6    | 2.5                  | 3          | 4          | 4          | 5          | 6           | 8            | 10           | 12           | 13           | 15           |                                      |
| 7    | 4                    | 5          | 6          | 7          | 8          | 10          | 12           | 14           | 16           | 18           | 20           | 千斤顶或压力油缸的活塞,水泵及减速器的轴颈,液压传动系统的分配机构    |
| 8    | 6                    | 8          | 9          | 11         | 13         | 15          | 18           | 20           | 23           | 25           | 27           |                                      |
| 9    | 9                    | 11         | 13         | 16         | 19         | 22          | 25           | 29           | 32           | 36           | 40           | 起重机、卷扬机用滑动轴承等                        |
| 10   | 15                   | 18         | 21         | 25         | 30         | 35          | 40           | 46           | 52           | 57           | 63           |                                      |

表 3-10 直线度和平面度公差（摘自 GB/T 1184—1996）

（单位：μm）

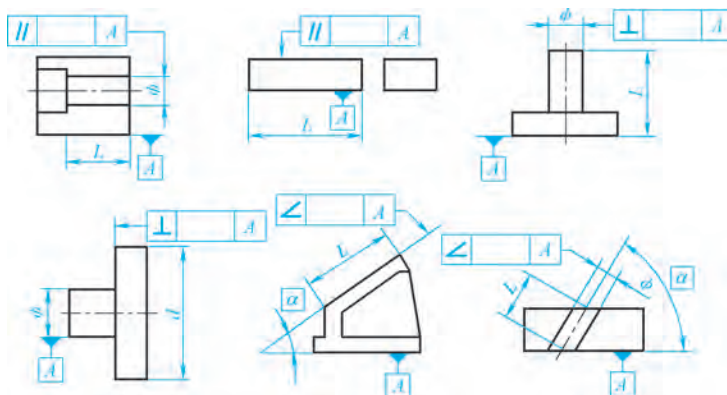
主参数  $L$  图例



| 公差等级 | 主要参数 $L/\text{mm}$ |        |        |        |        |         |          |          |          |          | 应用举例                      |
|------|--------------------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|---------------------------|
|      | ≤10                | >10~16 | >16~25 | >25~40 | >40~63 | >63~100 | >100~160 | >160~250 | >250~400 | >400~630 |                           |
| 5    | 2                  | 2.5    | 3      | 4      | 5      | 6       | 8        | 10       | 12       | 15       | 普通精度的机床导轨                 |
| 6    | 3                  | 4      | 5      | 6      | 8      | 10      | 12       | 15       | 20       | 25       |                           |
| 7    | 5                  | 6      | 8      | 10     | 12     | 15      | 20       | 25       | 30       | 40       | 轴承体的支承面,减速器的壳体,轴系支承轴承的接合面 |
| 8    | 8                  | 10     | 12     | 15     | 20     | 25      | 30       | 40       | 50       | 60       |                           |
| 9    | 12                 | 15     | 20     | 25     | 30     | 40      | 50       | 60       | 80       | 100      | 辅助机构及手动机械的支承面,液压管件的法兰的连接面 |
| 10   | 20                 | 25     | 30     | 40     | 50     | 60      | 80       | 100      | 120      | 150      |                           |

表 3-11 平行度、垂直度和倾斜度公差 (摘自 GB/T 1184—1996) (单位:  $\mu\text{m}$ )

主参数  $L, d(D)$  图例

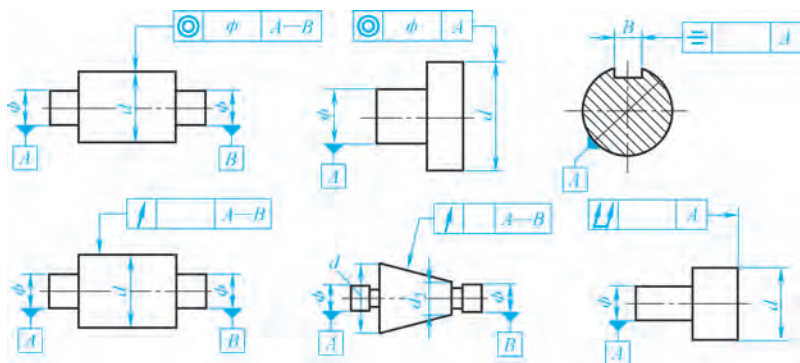


| 公差等级 | 主参数 $L, d(D)/\text{mm}$ |               |               |               |               |                |                 |                 |                 |                 | 应用举例                                            |
|------|-------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------------------------|
|      | $\leq 10$               | $>10 \sim 16$ | $>16 \sim 25$ | $>25 \sim 40$ | $>40 \sim 63$ | $>63 \sim 100$ | $>100 \sim 160$ | $>160 \sim 250$ | $>250 \sim 400$ | $>400 \sim 630$ |                                                 |
| 5    | 5                       | 6             | 8             | 10            | 12            | 15             | 20              | 25              | 30              | 40              | 垂直度用于发动机的轴和离合器的凸缘,装 5 级、6 级轴承和装 4 级、5 级轴承之箱体的凸肩 |
| 6    | 8                       | 10            | 12            | 15            | 20            | 25             | 30              | 40              | 50              | 60              | 平行度用于中等精度钻模的工作面, 7~10 级精度齿轮传动壳体孔的中心线            |
| 7    | 12                      | 15            | 20            | 25            | 30            | 40             | 50              | 60              | 80              | 100             | 垂直度用于装 0 级轴承之壳体孔的轴线,按 h6 与 g6 连接的锥形轴减速机的机体孔中心线  |
| 8    | 20                      | 25            | 30            | 40            | 50            | 60             | 80              | 100             | 120             | 150             | 平行度用于重型机械轴承盖的端面、手动传动装置中的传动轴                     |

表 3-12 同轴度、对称度、圆跳动和全跳动公差 (摘自 GB/T 1184—1996)

(单位:  $\mu\text{m}$ )

主参数  $d(D)$ 、 $B$ 、 $L$  图例



| 公差等级 | 主参数 $d(D)$ 、 $B$ 、 $L$ /mm |       |        |        |        |         |          |          | 应用举例                                                                    |
|------|----------------------------|-------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|-------------------------------------------------------------------------|
|      | >3~6                       | >6~10 | >10~18 | >18~30 | >30~50 | >50~120 | >120~250 | >250~500 |                                                                         |
| 5    | 3                          | 4     | 5      | 6      | 8      | 10      | 12       | 15       | 6 和 7 级精度齿轮轴的配合面,较高精度的快速轴,较高精度机床的轴套                                     |
| 6    | 5                          | 6     | 8      | 10     | 12     | 15      | 20       | 25       |                                                                         |
| 7    | 8                          | 10    | 12     | 15     | 20     | 25      | 30       | 40       | 8 和 9 级精度齿轮轴的配合面,普通精度高速轴(100r/min 以下),长度在 1m 以下的主传动轴,起重运输机的鼓轮配合孔和导轮的滚动面 |
| 8    | 12                         | 15    | 20     | 25     | 30     | 40      | 50       | 60       |                                                                         |

### 3.4.4 公差原则的选择

独立原则主要用于尺寸精度与几何精度要求相差较大,需分别满足要求,或两者无联系,保证运动精度、密封性,未注公差等场合。包容要求要用于需要严格保证配合性质的场合。最大实体要求用于中心要素,一般用于相配件要求为可装配性(无配合性质要求)的场合。最小实体要求主要用于需要保证零件强度和最小壁厚等场合。可逆要求与最大(最小)实体要求联合使用,可扩大被测要素实际尺寸的范围,提高经济效益,在不影响使用性能的前提下可以选用。

**例 3-4** 图 3-33 所示为功率为 5kW 的一级圆柱齿轮减速器的输出轴,该轴转速为 83r/min,其结构特征、使用要求及各轴颈的尺寸精度都已确定。要求对其几何公差做出选择。

**解** 几何公差的选择可分为下列步骤进行:

(1) 公差项目的选择 从结构特征上分析,该轴存在有同轴度、圆跳动、全跳动、直线度、对称度、圆度、圆柱度和垂直度等 8 个项目。从使用要求分析,轴颈  $\phi 45\text{mm}$  和  $\phi 56\text{mm}$  处分别与齿轮和联轴器的内孔配合,以传递动力,因此,需要控制轴颈的同轴度、跳动和轴线的直线度误差;轴上两键槽处均需控制其对称度误差; $\phi 55\text{mm}$  轴颈与易于变形的滚动轴承内圈配合,需要控制圆度和圆柱度的误差; $\phi 62\text{mm}$  两端轴肩处分别是齿轮和滚动轴承的止推面,需要控制端面对轴线的垂直度误差。从检测的可能性和经济性来分析,对于轴类零件,可用径向圆跳动公差代替同轴度公差和轴线的直线度公差;用圆度公差代替圆柱度公差;用轴向圆跳动公差代替垂直度公差。因此,该轴最后确定的几何公差项目有径向

和轴向圆跳动、对称度和圆柱度。

(2) 公差等级的确定 按类比法查表 3-12, 参考公差等级应用举例来确定: 齿轮传动轴的径向圆跳动公差为 7 级; 对称度公差单键标准规定一般选择 8 级; 轴肩的轴向圆跳动公差和轴颈的圆柱度公差, 可根据滚动轴承的公差等级 (表 7-3) 查得 (与标准件配合处的尺寸、几何公差和表面粗糙度值由标准件精度确定), 对于普通级轴承, 其公差值分别为 0.015mm 和 0.005mm。

(3) 公差值的确定 查表 3-12, 径向圆跳动公差等级均为 7 级, 主参数为轴颈  $\phi 45\text{mm}$  和  $\phi 56\text{mm}$  时, 其公差值分别为 0.020mm、0.025mm; 对称度公差等级为 8 级, 主参数为被测要素键宽 14mm 和 16mm 时, 其公差值均为 0.020mm。

(4) 基准的选择 应以该轴安装时两处  $\phi 55\text{mm}$  轴颈的公共轴线作为设计基准; 而轴颈  $\phi 45\text{mm}$  和  $\phi 56\text{mm}$  的轴线分别是其轴上键槽对称度的基准。

(5) 公差原则的选择 根据各原则的应用范围, 考虑到  $\phi 45\text{mm}$ 、 $\phi 55\text{mm}$  和  $\phi 56\text{mm}$  各轴颈处应保证配合性质要求, 故均采用包容要求, 即在其尺寸公差带代号后标注  $\textcircled{E}$ 。

将以上精度设计的全部内容, 按照框格标注法合理地标注在工程图样上, 如图 3-33 所示。

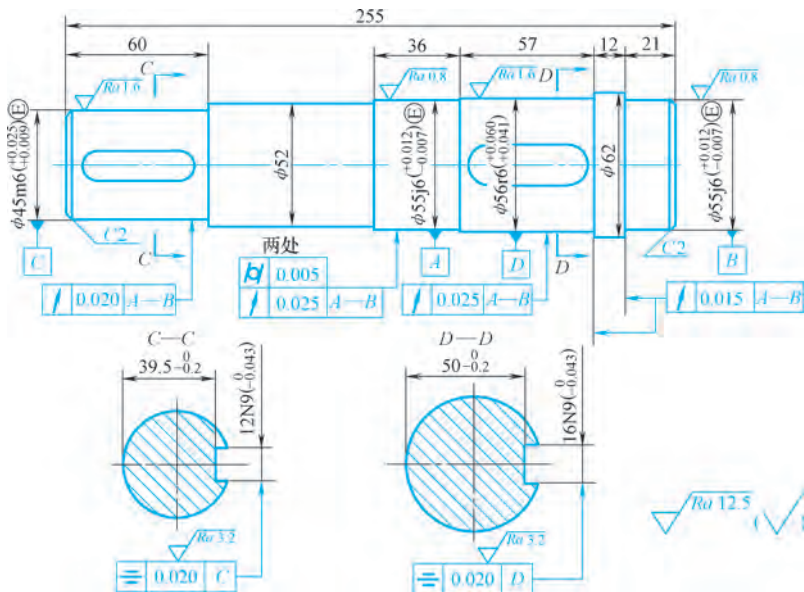


图 3-33 减速器输出轴几何公差的选择实例

## 3.5 几何误差的检测实训

### 3.5.1 直线度误差的检测

#### 1. 目的和要求

(1) 理解直线度误差及其含义。

- (2) 掌握水平仪、专用垫块等检验工具与仪器的使用方法。
- (3) 掌握按最小条件和两端点连线作图以及求解直线度误差值的方法。

## 2. 仪器和器材

水平仪、专用垫块。

## 3. 仪器说明和测量原理

普通水平仪有条式和框式两种,如图 3-34 和图 3-35 所示,主要由框架和水准器组成,在测量面上制有 V 形槽,以便放在圆柱形的被测表面上测量。

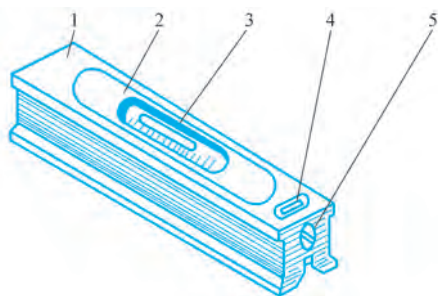


图 3-34 条式水平仪

1—主体 2—盖板 3—主水准器  
4—横水准器手把 5—调零装置

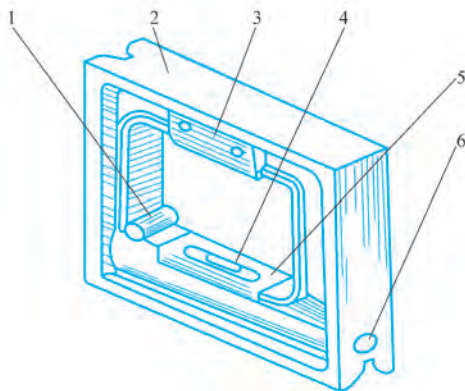


图 3-35 框式水平仪

1—横水准器 2—主体 3—手把  
4—主水准器 5—盖板 6—调零装置

水准器是一个密封的玻璃管,内装有精馏乙醚,并留有一定量的空气,以形成气泡,称为水准气泡。因密度关系,气泡始终停在玻璃管的最高点。如果水平仪处于水平位置,气泡就处于玻璃管的中间,如果水平仪倾斜一个角度,气泡就偏离中间一定位置。根据移动距离,就可测得平面的水平度。

常用的 4"水平仪的刻线原理即在 1m 长度上对边高 0.02mm,此时,在水准器的刻线上以气泡偏移 1 格来表达,又称为 0.02mm/1000mm 或 0.02mm/m 的水平仪。说明当气泡移动 1 格,1m 内的高度差为 0.02mm。

若水平仪的测量面的两端在 200mm,其高度差为  $(0.02/1000) \times 200\text{mm} = 0.004\text{mm}$ 。

## 4. 测量方法与步骤

对于较长的被测表面,一般多用水平仪以节距法测量其直线度误差。测量前,首先将被测表面调到水平位置,按被测表面长度,选择尺寸合适的专用垫块。对于长度小于 4m 的被测表面,选用长度  $L$  等于 200~250mm 的专用垫块;对于长度大于 4m 的被测表面,选用长度等于 500mm 的专用垫块。

图 3-36 所示为直线度误差检测示意图。

1) 将水平仪放在专用垫块上。测量时,从被测表面的一端开始,至另一端终止。再按原测点返回测量,取各测点两次读数的平均值,作为该点的测量结果。

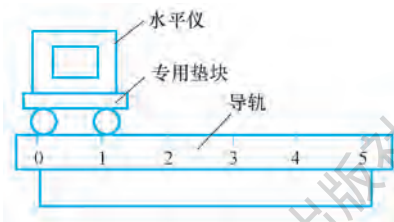


图 3-36 直线度误差检测示意图

2) 测量时, 每次移动垫块均需将后支点准确地放在原前支点处, 新的前支点升高或降低都将引起气泡相应移动。

3) 根据气泡移动的方向和水平仪移动的方向, 确定被测表面的倾斜方向。若气泡移动方向和水平仪移动方向一致, 说明被测表面上倾斜, 一般多为正值, 用“+”号表示; 若气泡移动方向和水平仪移动方向相反, 说明被测表面向下倾斜, 一般读为负值、用“-”号表示。

4) 边测量边将气泡移动的格数和正负记录在有关表格中。

5) 将测得的角值, 用公式换算成线值。按作图法和计算法即可求出直线度误差。

例如, 使用分度值为  $0.02\text{mm/m}$  水平仪, 选用两支点间距  $L=200\text{mm}$  的专用垫块, 测量长  $1\text{m}$  导轨的直线度误差, 其测量和计算结果见表 3-13。

表 3-13 直线度测值表

| 测点序号               | 1     | 2       | 3       | 4       | 5        |
|--------------------|-------|---------|---------|---------|----------|
| 测量位置/mm            | 0~200 | 200~400 | 400~600 | 600~800 | 800~1000 |
| 读数值/格              | +2    | -1.5    | +3.5    | -2.5    | +1.5     |
| 线值/ $\mu\text{m}$  | +8    | -6      | +14     | -10     | +6       |
| 累积值/ $\mu\text{m}$ | +8    | +2      | +16     | +6      | +12      |

(1) 解法一: 用两端点连线作图法求直线度误差 (图 3-37)。

1) 用表 3-11 的测量结果作图。以  $x$  轴代表被测表面长度,  $y$  轴代表直线度误差, 并确定绘图比例。

2) 把测得的各点读数值或线值按顺序标注在坐标纸上。因为水平仪在新的测量位置上的读数是对前一测量位置而言的, 因此, 标注时应以前一次测量位置为基准, 标出新的测量位置对前一测量位置升高或降低的误差数值。

3) 把标出的各点, 按照测量顺序连接起来, 就构成了被测表面直线度误差值。

4) 连接曲线两个端点  $0$ 、 $n$ , 以  $0n$  作为评定直线度误差的理论直线, 从曲线上找出到  $0n$  连线的最大正、负坐标值, 取其绝对值之和, 即为所求的直线度误差。

5) 直线度误差  $f$  为:  $f = | +8.8 | \mu\text{m} + | -3.6 | \mu\text{m} = 12.4 \mu\text{m}$ 。

(2) 解法二: 用包容线作图法求直线度误差 (图 3-38)。

1) 按表 3-11 所列的测量结果作图, 画出被测表面直线度误差曲线图。

2) 作符合最小条件的包容线。按照最小条件的判断准则, 即若一条包容线通过误差曲线上两个最高点 (或最低点), 而另一条包容线通过误差曲线上的一个最低点 (或最高点), 且该点位于第

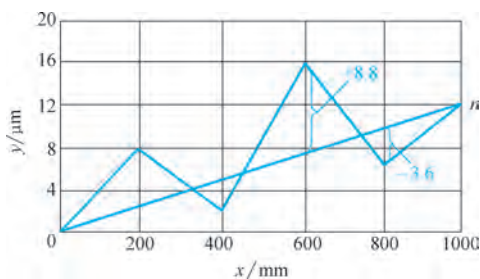


图 3-37 直线度误差曲线图

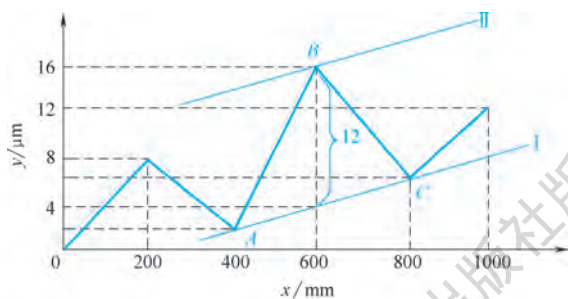


图 3-38 直线度误差曲线图

一条包容线上两最高点（或最低点）之间，则这种包容线符合最小条件。即两高夹一低或两低夹一高，为符合最小条件包容线的判断准则。

3) 包容线Ⅰ通过曲线上两个最低点  $A$ 、 $C$ ；包容线Ⅱ通过曲线上一个最高点  $B$ ，且  $B$  点位于的  $A$ 、 $C$  两点之间，符合两低夹一高的判断准则。所以，直线Ⅰ、Ⅱ是符合最小条件的包容线。

4) 直线度误差  $f=12\mu\text{m}$ 。

### 3.5.2 平面度和平行度误差的检测

#### 1. 目的和要求

- (1) 理解形状误差与位置误差的区别。
- (2) 掌握平面度、平行度误差的检测设备及仪表的使用方法。
- (3) 掌握平面度、平行度误差检测的基本方法。

#### 2. 仪器和器材

检验平台、测微表、表架、固定和可调支承。

#### 3. 检测步骤

(1) 平面度误差的检测步骤（图 3-39）

1) 将被测工件支撑在检验平板上，以检验平板作为测量基准。

2) 当采用三点法测量时，通过调整固定和可调支承，使被测表面最远三点等高。然后，用测微表沿被测表面各点或按一定的布点测量被测表面，将测微表最大与最小读数的差值近似地作为平面度误差值。

3) 当采用对角线法测量时，通过调整可调支承调整被测表面上对角线对应点  $a_1$  和  $c_3$  与检验平板等高，即  $Z_1=Z_4$ 。然后，再调整另一条对角线对应点  $c_1$  和  $a_3$  与检验平板等高，即  $Z_3=Z_2$ 。

4) 用测微表沿被测表面上各点或按一定的布点测量被测表面。

5) 测微表在整个实际表面上测得的最大读数和最小读数之差即被测表面的平面度误差。

6) 当要求较高时、可根据记录的各点读数，用基面法按最小条件求得平面度误差。

7) 平面度误差可用下式计算：

$$f=M_{\max}-M_{\min}$$

式中  $f$ ——平面度误差；

$M_{\max}$ ——最大读数；

$M_{\min}$ ——最小读数。

(2) 平行度误差的检测步骤（图 3-40）

1) 将被测工件支撑在检验平板上，以检验平板作为测量基准。

2) 当采用三点法测量时，通过调整固定和可调支承，使基准表面最远三点等高，

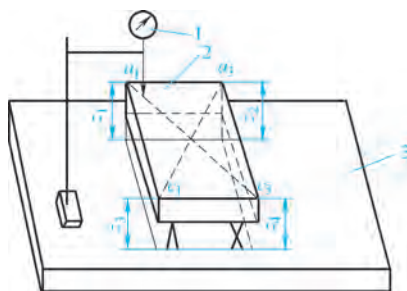


图 3-39 平面度检测示意图

1—测微表 2—被测表面 3—检验平板

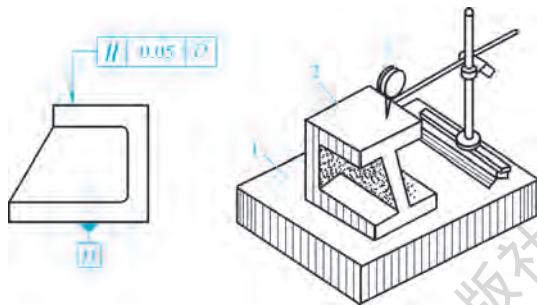


图 3-40 平行度检测示意图

1—检验平板 2—被测零件 3—指示表

以使基准表面与检验平板平行。

3) 用测微表沿被测表面各点或按一定的布点测量被测表面, 将测微表最大与最小读数的差值近似地作为平行度误差值。

### 3.5.3 径向和端面圆跳动误差的检测

#### 1. 目的和要求

- (1) 理解产品合格性检验的条件和准则。
- (2) 掌握圆跳动误差的检测设备及其使用方法。
- (3) 掌握径向圆跳动和端面圆跳动误差检测的基本方法。

#### 2. 仪器和器材

齿圈径向跳动检查仪、待测工件。

#### 3. 仪器说明和测量原理

采用跳动测量仪进行测量, 其外形如图 3-41 所示, 主要由底座和两个顶尖座组成。测量盘类零件时, 将被测工件 3 安装在锥度心轴 4 上, 把心轴支承在量仪的两顶尖座 1 的顶尖之间。测量以中心孔为基准的轴类零件时, 可直接将被测工件支承在两顶尖之间。把指示表 2 的测头分别沿径向置于被测外圆柱面上, 或沿轴向置于端面上, 表架不动, 使工件旋转一周, 由指示表测出径向和端面圆跳动。

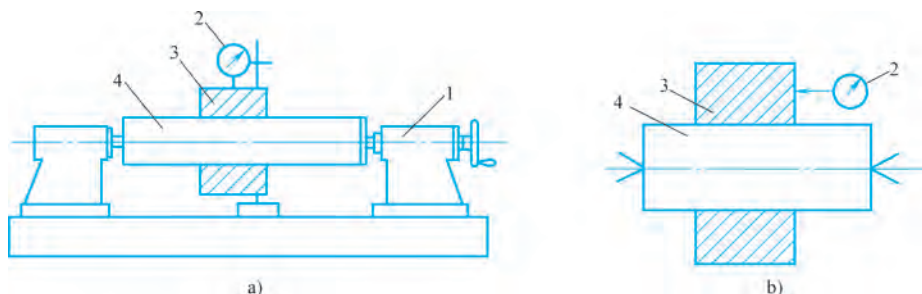


图 3-41 圆跳动测量示意图

a) 测量径向圆跳动 b) 测量端面圆跳动

1—顶尖座 2—指示表 3—被测工件 4—心轴

#### 4. 检测步骤及结果

1) 把被测工件 3 安装在心轴 4 上 (被测工件的基准孔与心轴成无间隙配合), 以心轴轴线模拟体现基准轴线。再把心轴安装在量仪的两顶尖之间, 使心轴能自由转动且没有轴向窜动。

2) 调整指示表架的位置, 使指示表 2 测杆的轴线垂直于心轴轴线, 且测头与被测外圆的最高点接触, 并把测杆压缩 1~2mm (即百分表长指针压缩 1~2 圈)。然后把被测工件缓慢转动一周, 读取指示表的最大与最小示值, 它们之差即为径向圆跳动值。

对于较长的被测圆柱面, 应根据具体情况, 测量几个横截面的径向圆跳动值, 取其中的最大值作为测量结果。

3) 调整指示表 2 在表架上的位置, 使指示表测杆的轴线平行于心轴轴线, 测头与被测端面接触, 并把测杆压缩 1~2mm。然后把被测工件缓慢转动一周, 读取指示表的最大与最

小示值, 它们之差即为端面圆跳动值。

若被测端面直径较大, 可根据具体情况, 在不同直径的几个轴向位置上测量值, 取其中的最大值作为测量结果。

### 思考题与习题

#### 3.1 填空题

- (1) 圆度的公差带形状是\_\_\_\_\_, 圆柱度的公差带形状是\_\_\_\_\_。
- (2) 作用尺寸是\_\_\_\_\_与\_\_\_\_\_综合而成。对一批零件来说, 它是一个变量, 即每个零件的作用尺寸不尽相同。
- (3) 最大实体实效尺寸是\_\_\_\_\_与\_\_\_\_\_综合而成。对一批零件来说它是一个变量。
- (4) 某轴尺寸为  $\phi 40_{+0.030}^{+0.041}$  mm, 轴线直线度公差为  $\phi 0.005$  mm, 实测得其局部尺寸为  $\phi 40.031$  mm, 轴线直线度误差为  $\phi 0.003$  mm, 则轴的最大实体尺寸是\_\_\_\_\_ mm, 最大实体实效尺寸是\_\_\_\_\_ mm, 体外作用尺寸是\_\_\_\_\_ mm。
- (5) 确定和处理\_\_\_\_\_公差和\_\_\_\_\_公差之间关系的原则称为公差原则。
- (6) 某轴尺寸为  $\phi 40_{+0.030}^{+0.041}$  mm  $\textcircled{\text{E}}$ , 实测得其尺寸为  $\phi 40.03$  mm, 则允许的几何误差数值是\_\_\_\_\_ mm, 该轴允许的几何误差最大值为\_\_\_\_\_ mm。

#### 3.2 判断题

- (1) 被测要素为中心要素时, 框格箭头应与要素的尺寸线对齐。 ( )
- (2) 最小条件是指被测要素对基准要素的最大变动量为最小。 ( )
- (3) 某平面对基准平面的平行度误差为  $0.05$  mm, 那么这平面的平面度误差一定不大于  $0.05$  mm。 ( )
- (4) 对称度的被测要素和基准要素都应为中心要素。 ( )
- (5) 圆柱度可以控制圆锥面积。 ( )
- (6) 轴的最大极限尺寸即为其最小实体尺寸。 ( )
- (7) 尺寸公差与几何公差采用独立原则时, 零件加工的实际尺寸和几何误差中有一项超差, 则该零件不合格。 ( )
- (8) 被测要素遵守独立原则时, 需加注符号  $\textcircled{\text{E}}$ 。 ( )
- (9) 当包容要求用于单一要素时, 被测要素必须遵守最大实体实效边界。 ( )
- (10) 当最大实体要求应用于被测要素时, 则被测要素的尺寸公差可补偿给形状误差, 几何误差的最大允许值应小于给定的公差值。 ( )

#### 3.3 选择题

- (1) 构成零件几何特征的点、线、面统称为\_\_\_\_\_。  
A. 要素                      B. 要素值                      C. 图形
- (2) 属于形状公差的有\_\_\_\_\_。  
A. 圆柱度                      B. 平面度                      C. 同轴度                      D. 圆跳动                      E. 平行度
- (3) 属于位置公差的有\_\_\_\_\_。  
A. 平行度                      B. 平面度                      C. 端面全跳动                      D. 倾斜度                      E. 圆度
- (4) 圆柱体轴线的直线度公差带形状为\_\_\_\_\_。  
A. 两平行直线                      B. 一个圆柱                      C. 两平行平面
- (5) 对称度公差带形状为\_\_\_\_\_。  
A. 两平行平面                      B. 两同心圆                      C. 两同轴圆柱体
- (6) 球心的位置度公差带的形状为\_\_\_\_\_。

- A. 两个同心球      B. 一个球      C. 圆柱

(7) 在图样上几何公差框格应该\_\_\_\_\_放置。

- A. 垂直      B. 水平      C. 倾斜

(8) 单一要素采用包容原则时, 用最大实体尺寸控制\_\_\_\_\_。

- A. 实际尺寸      B. 作用尺寸      C. 形状误差      D. 位置误差

(9) 某孔  $\phi 10^{+0.015}_0 \text{ mm}$  (E) 则\_\_\_\_\_。

- A. 被测要素遵守 MMC 边界  
B. 被测要素遵守 MMVC 边界  
C. 当被测要素尺寸为  $\phi 10 \text{ mm}$  时, 允许形状误差最大可达  $0.015 \text{ mm}$   
D. 当被测要素尺寸为  $\phi 10.01 \text{ mm}$  时, 允许形状误差可达  $0.01 \text{ mm}$   
E. 局部实际尺寸应大于或等于最小实体尺寸

(10) 某轴  $\phi 10^{+0.015}_0 \text{ mm}$  (E) 则\_\_\_\_\_。

- A. 被测要素遵守 MMC 边界  
B. 被测要素遵守 MMVC 边界  
C. 当被测要素尺寸为  $\phi 10 \text{ mm}$  时, 允许形状误差最大可达  $0.015 \text{ mm}$   
D. 当被测要素尺寸为  $\phi 9.985 \text{ mm}$  时, 允许形状误差最大可达  $0.015 \text{ mm}$   
E. 局部实际尺寸应大于或等于最小实体尺寸。

3.4 什么是最小条件? 什么是最小区域法? 说明如何应用最小条件或最小区域法来评定形状和位置误差。

3.5 几何公差带由哪四个要素构成? 分析比较各项形状公差带和位置公差带的特点。

3.6 端面对轴线的垂直度和轴向圆跳动、同轴度和径向圆跳动、圆柱度和径向全跳动各有何区别? 如何选用?

3.7 什么是基准? 什么是三基面体系? 根据什么原则由基准实际要素建立基准?

3.8 什么是局部实际尺寸与最大(最小)实体尺寸? 什么是作用尺寸与实效尺寸? 它们之间有何联系与区别?

3.9 将下列几何公差要求以框格符号的形式标注在图 3-42 所示的零件图中。

(1)  $\phi 30\text{K}7$  和  $\phi 50\text{M}7$  采用包容要求。

(2) 底面  $F$  的平面度公差为  $0.02 \text{ mm}$ ;  $\phi 30\text{K}7$  孔和  $\phi 50\text{M}7$  孔的内端面对它们的公共轴线的圆跳动公差为  $0.04 \text{ mm}$ 。

(3)  $\phi 30\text{K}7$  孔和  $\phi 50\text{M}7$  孔对它们的公共轴线的同轴度公差为  $0.03 \text{ mm}$ 。

3.10 将下列几何公差要求以框格符号的形式标注在图 3-43 所示的零件图中。

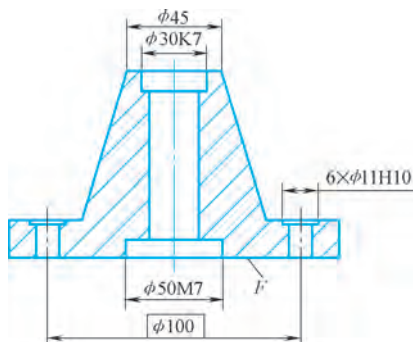


图 3-42 题 3.9 图

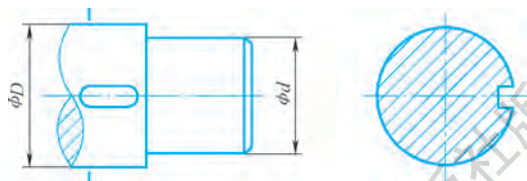


图 3-43 题 3.10 图

(1)  $\phi d$  圆柱面的尺寸为  $\phi 30^{+0.025}_0 \text{ mm}$ , 采用包容要求,  $\phi D$  圆柱面的尺寸为  $\phi 50^{+0.039}_0 \text{ mm}$ , 采用独立

原则。

(2)  $\phi d$  表面粗糙度最大允许值为  $Ra = 1.6\mu\text{m}$ ,  $\phi D$  表面粗糙度最大允许值为  $Ra = 3.2\mu\text{m}$ 。

(3) 键槽侧面对  $\phi D$  轴线的对称度公差为  $0.02\text{mm}$ 。

(4)  $\phi D$  圆柱面对  $\phi d$  轴线的径向圆跳动量不超过  $0.03\text{mm}$ , 轴肩端平面对  $\phi d$  轴线的轴向圆跳动不超过  $0.05\text{mm}$ 。

3.11 改正图 3-44a、b 中各项几何公差标注上的错误 (不得改变几何公差项目)。

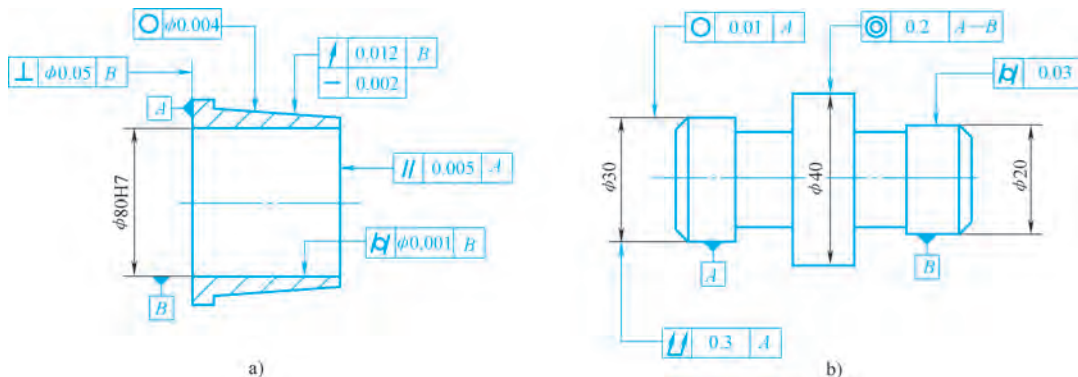


图 3-44 题 3.11 图

3.12 如图 3-45 所示, 被测要素采用的公差原则是\_\_\_\_\_, 最大实体尺寸是\_\_\_\_\_ mm, 最小实体尺寸是\_\_\_\_\_ mm, 最大实体实效尺寸是\_\_\_\_\_ mm。垂直度公差给定值是\_\_\_\_\_ mm, 垂直度公差最大补偿值是\_\_\_\_\_ mm。设孔的横截面形状正确, 当孔实际尺寸处处都为  $\phi 60\text{mm}$  时, 垂直度公差允许值是\_\_\_\_\_ mm, 当孔实际尺寸处处都为  $\phi 60.10\text{mm}$  时, 垂直度公差允许值是\_\_\_\_\_ mm。

3.13 如图 3-46 所示, 要求:

(1) 指出被测要素遵守的公差原则。

(2) 求出单一要素的最大实体实效尺寸、关联要素的最大实体实效尺寸。

(3) 求出被测要素的形状、位置公差的给定值, 最大允许值的大小。

(4) 若被测要素实际尺寸处处为  $\phi 19.97\text{mm}$ , 轴线对基准 A 的垂直度误差为  $\phi 0.09\text{mm}$ , 判断其垂直度的合格性, 并说明理由。

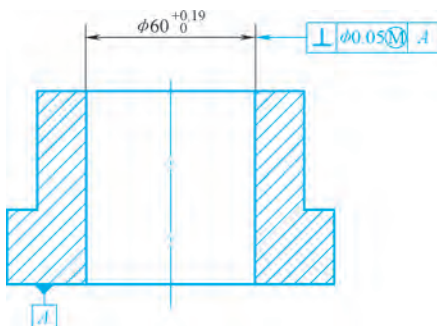


图 3-45 题 3.12 图

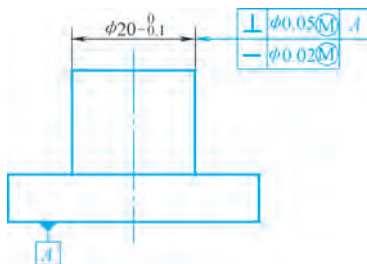


图 3-46 题 3.13 图